

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد الصديق بن يحيى- جيجل

Université Mohammed-Seddik Ben yahia-Jijel

Faculté des Sciences de la Nature et de la

Vie

Département de Biologie Moléculaire et
Cellulaire



كلية علوم الطبيعة و الحياة

قسم البيولوجيا الجزيئية و الخلوية

Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme : **Master Académique en Biologie**

Filière : Sciences Biologiques

Option : Biochimie

Thème

**Activité antioxydante des polyphénols du
fruit de *Phoenix dactylifera* L.**

Membres de Jury :

Présidente : M^{me} MEZAHM Tassadite

Examinatrice : M^{me} REZZAGUI Abir

Encadrant : Dr. BOUTENNOUN Hanane

Présenté par :

M^{elle} : BOUHALI Meriem

M^{elle} : BOUGUERNE Sara

M^{me} : BOUMAIZA Amira

Année universitaire 2019-2020

Numéro d'ordre :.....

Remerciements

Nous remercions Allah tout puissant et miséricordieux qui nous a donné la volonté, la patience et le courage pour réaliser ce modeste travail à terme.

Nous voulons également exprimer notre gratitude à nos familles dont leur aide et leur encouragement nous ont poussés à terminer notre étude. Nous ne pouvons jamais les remercier assez pour leur grand soutien.

*Nous tenons à remercier notre promotrice **Dr. Boutennoun Hanane** de nos avoir guidée tout au long de notre travail.*

*Nous adressons particulièrement nos remerciements aux membres du Jury : **M^{me}. Mezahem T.** qui nous a fait l'honneur de présider le jury de notre soutenance et **M^{me}. Rezzagui A.** d'avoir accepté d'examiner et de juger ce travail.*

Enfin, nous remercions toutes personnes avec qui nous avons partagé les bons moments.

Sommaire

Remerciements

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Résumé

Introduction..... 01

Chapitre I : Les polyphénols

I.1. Généralités..... 03

I.2. Structure et classification des polyphénols..... 03

 I.2.1. Flavonoïdes..... 03

 I.2.2. Non flavonoïdes..... 04

I.3. Devenir des polyphénols dans l'organisme..... 07

 I.3.1. Absorption intestinale des polyphénols alimentaires..... 07

 I.3.2. Métabolisme et conjugaison des polyphénols..... 08

 I.3.3. Absorption tissulaire des polyphénols..... 09

 I.3.4. Elimination des polyphénols..... 10

I.4. Rôles biologiques des polyphénols alimentaires..... 10

 I.4.1. Polyphénols et maladies cardiovasculaires..... 10

 I.4.2. Polyphénols et cancer..... 12

 I.4.3. Polyphénols et maladies neurodégénératives..... 12

 I.4.4. Polyphénols et activité antioxydante..... 12

Chapitre II : Le stress oxydatif

II.1. Généralités..... 15

II.2. Espèces réactives de l'oxygène..... 15

II.3. Origines des espèces réactives de l'oxygène..... 16

 II.3.1. Origines endogènes..... 16

 II.3.1.1. Sources enzymatiques..... 17

 II.3.1.2. Sources non enzymatiques..... 18

 II.3.2. Origines exogènes..... 19

II.4. Rôles physiologiques des espèces réactives de l'oxygène 20

II.5. Rôles pathologiques des espèces réactives de l'oxygène	20
II.5.1. Effet du stress sur les composants cellulaires.....	21
II.5.1.1. Oxydation d'ADN.....	21
II.5.1.2. Peroxydation des lipides.....	21
II.5.1.3. Oxydation des protéines.....	22
II.5.2. Action du stress oxydatif sur les maladies dégénératives.....	23
II.5.2.1. Stress et maladies cardiovasculaires.....	23
II.5.2.2. Stress et cancer	24
II.5.2.3. Stress et maladies neurodégénératives	24
II.6. Biomarqueurs du stress oxydatif.....	25
II.7. Système de défense contre les ERO.....	25
II.7.1. Systèmes antioxydants enzymatiques.....	26
II.7.2. Systèmes antioxydants non enzymatiques.....	27

Chapitre III : Le palmier dattier et la datte

III.1. Le palmier dattier.....	30
III.1.1. Classification botanique du palmier dattier.....	30
III.1.2. Distribution géographique du palmier dattier.....	31
III.1.2.1. Dans le monde.....	31
III.1.2.2. En Algérie.....	32
III.2. La datte.....	32
III.2.1. Stades de maturation des dattes.....	33
III.2.2. Classification des dattes.....	34
III.2.3. Variétés des dattes.....	35
III.2.4. Compositions biochimiques des dattes.....	35
III.2.4.1. Composition de la partie comestible (pulpe).....	35
III.2.4.2. Composition de la partie non comestible (noyau).....	37
III.2.5. Importance des dattes pour la santé.....	38

Chapitre IV : Etudes antérieures

Etudes antérieures.....	39
Conclusion.....	47
Références bibliographiques.....	48

Liste des abréviations

Abs	: Absorbance
ADN	: Acide désoxyribonucléique
AGPI	: Acide gras polyinsaturés
AMP	: Adénosine monophosphate
AP-1	: Protéine activatrice 1
ATP	: Adénosine triphosphate
ATPase	: Adénosine-triphosphate synthase
Aβ	: Béta-amyloïde
C4H	: Cinnamate-4-Hydroxylase
CAT	: Catalase
CoA	: Coenzyme A
COMT	: Catéchol-O-méthyl transférase
CoQ	: Coenzyme Q
COX	: Cyclo-oxygénases
CPK	: Protéine kinase C
Cu/Zn-SOD1	: Superoxyde dismutase à cuivre et à zinc 1
DN	: Deglet nour
DPPH	: 2,2'-diphenyl-1-picrylhydrazyl
EAG	: Equivalent d'acide gallique
EAT	: Equivalent d'acide tannique
EC	: Equivalent de catéchine
EGCG	: Epigallocatechine gallate
EQ	: Equivalent de quercétine
ERO	: Espèce réactives de l'oxygène
ERN	: Espèce réactives d'azote
FRAP	: Pouvoir antioxydant réducteur ferrique
GPx	: Glutathion peroxydase
GR	: Glutathion réductase
GSH	: Glutathion réduit
GSSG	: Glutathion oxydé
HPLC	: High-Performance Liquid Chromatography
HPLC- DAD	: High-Performance Liquid Chromatography - Diode Array Dectector
HT 29	: Lignée cellulaire de cancer du côlon humain
HX	: Hypoxanthine oxydase
IC	: Concentration inhibitrice

ICAM-1	: Intercellular adhesion molecule 1
LDL	: Lipoprotéines de faibles densités
MAPK	: Mitogen-activated protein kinases
MDA	: Malondialdéhyde
Mn-SOD2	: Superoxyde dismutase à manganèse
NAD	: Nicotinamide adénine dinucléotide
NADPH	: Nicotinamide adénine dinucléotide phosphate réduit
NF-κB	: Facteur nucléaire Kappa B
P 450	: Protéine 450
PAL	: Phénylalanine ammoniacque lyase
PF	: Poids frais
Phe	: Phénylalanine
PI3	: Phosphoinositide 3
PS	: Poids sec
RE	: Réticulum endoplasmique
RPE	: Résonance paramagnétique électronique
SAM	: S-adénosyl-L-méthionine
SIRT1	: Sirtuine 1
SOD	: Superoxyde dismutase
SULT	: Sulfo-transférases
TAL	: Tyrosine ammoniacque lyase
TTF	: Teneur totale en flavonoïdes
TTP	: Teneur totale en polyphénols
UGT	: Uridine-5'-diphosphate glucuronosyl transférase
VCAM-1	: Vascular cell adhesion protein 1
Vit	: Vitamine
XDH	: Xanthine déhydrogénase
XO	: Xanthine oxydase
α-tocophérol	: Alfa-tocophérol
β-oxydation	: Béta oxydation
8OH-G	: 8-Hydroxyguanine

Liste des figures

Figure 1	: Structures chimiques des sous-classes de flavonoïdes.....	04
Figure 2	: Schéma explicatif du devenir des polyphénols dans l'organisme.....	08
Figure 3	: Schéma explicatif des sites potentiels du processus de conjugaison des polyphénols.....	09
Figure 4	: Activités biologiques des polyphénols naturels.....	10
Figure 5	: Effet des polyphénols dans le maintien de l'intégrité de l'endothélium vasculaire.....	11
Figure 6	: Schéma explicatif de la formation d'un radical libre.....	15
Figure 7	: Origines endogènes des ERO.....	16
Figure 8	: Mécanisme de génération des ERO par la XO dans les tissus lors du processus d'ischémie.....	17
Figure 9	: Synthèse des ERO par la chaîne respiratoire mitochondriale.....	19
Figure 10	: Déséquilibre de la balance entre les ERO et les antioxydants.....	20
Figure 11	: Attaque radicalaire de la guanine et la formation de la 8OH-G.....	21
Figure 12	: Mécanisme en chaîne de la peroxydation des acides gras polyinsaturés et la nature des produits terminaux formés.....	22
Figure 13	: Nature de quelques modifications des chaînes latérales d'acides aminés des protéines après une attaque radicalaire.....	23
Figure 14	: Le rôle fondamental de la SOD, la catalase et du GPx dans l'ensemble de la grille de défense antioxydante.....	27
Figure 15	: Le rôle antioxydant des vitamines C et E.....	28
Figure 16	: Distribution du palmier dattier dans le monde.....	31
Figure 17	: Les composants essentiels de la datte.....	33
Figure 18	: Stades de maturation du fruit du palmier dattier.....	34

Liste des tableaux

Tableau I	: Les différentes structures des classes des polyphénols.....	06
Tableau II	: Liste des formes radicalaires et non radicalaires des ERO et les ERN.....	16
Tableau III	: Les produits couramment dosés afin de mettre en évidence un état d'oxydation d'une cible moléculaire donnée.....	25
Tableau IV	: La variation du poids et des dimensions du fruit de dattes.....	32
Tableau V	: Les variétés de dattes les plus courantes dans le monde arabe.....	35
Tableau VI	: La différence de la teneur en sucre entre les dattes fraîches et séchées.....	36
Tableau VII	: La composition chimique des grains de datte « Allig ».....	38
Tableau VIII	: Le contenu phénolique du DN algérienne et tunisienne.....	40
Tableau IX	: La teneur total en polyphénols du DN en comparaison avec les autres variétés de dattes.....	40
Tableau X	: La teneur totale en flavonoïdes du DN en comparaison avec les autres variétés de dattes.....	41
Tableau XI	: Le contenu phénolique des différents aliments.....	42
Tableau XII	: Le contenu en tanins condensés du DN en comparaison avec les autres variétés de dattes.....	43
Tableau XIII	: Activité antioxydante des dattes mesurées par le test DPPH.....	44
Tableau XIII	: Activité antioxydante des différents aliments.....	45
Tableau XV	: Les coefficients de corrélation entre le contenu phénolique et l'activité antioxydante.....	46

Introduction

Introduction

Les espèces réactives de l'oxygène (ERO) sont des molécules chimiquement réactives produites dans les systèmes biologiques à la suite du métabolisme cellulaire normal (**Birben et al., 2012**). Bien qu'ils soient nécessaires pour l'organisme à des niveaux modérés, les fortes concentrations des ERO donnent l'apparition au stress oxydatif qui conduit à des altérations de différents composants de la cellule (lipides, protéines et ADN) (**Valko et al., 2006**).

Les organismes aérobies ont des systèmes antioxydants efficaces pour bloquer les effets nocifs des ERO (**Birben et al., 2012**). Cependant, dans les conditions pathologiques, les systèmes antioxydants peuvent être dépassés générant ainsi de nombreuses maladies telles que : le cancer, les troubles neurologiques et les maladies cardiovasculaires (**Haleng et al., 2007**). Pour compenser la carence en antioxydants biologiques et pour éviter les effets indésirables des antioxydants artificiels, l'intérêt des scientifiques s'est porté vers un certain nombre d'aliments de forte teneur en antioxydants naturels dont les polyphénols (**Scalbert et al., 2005**).

Les polyphénols sont un groupe de micronutriments végétaux abondants dans les aliments et reconnus pour leur forte bioactivité qui se traduit au niveau de l'organisme par une large gamme de propriétés biologiques (**Morand et Milenkovic, 2014**). Les données expérimentales indiquent que la plupart des actions biologiques des composés phénoliques peuvent être attribuées à leurs capacités antioxydantes intrinsèques qui fournissent une défense contre le stress oxydatif (**Han et al., 2007**).

La datte (*Phoenix dactylifera* L.) est une drupe qui présente une grande diversité de texture, de forme, de couleur et des composés chimiques (**Dayang et al., 2014**). Un vaste ensemble de preuves scientifiques ont publié de nombreux articles de recherche sur la datte en tant qu'aliment de forte teneur en polyphénols.

En effet, notre choix s'est porté sur une variété de dattes algérienne « Deglet Nour » car elle a une grande importance alimentaire et économique, et sa consommation manifeste un effet positif sur la santé humaine.

L'objectif de notre travail vise à démontrer la richesse du Deglet Nour algérienne en polyphénols et mettre en évidence leur capacités antioxydantes en utilisant un ensemble de données générées à partir des études scientifiques publiées au cours des 10 dernières années. Pour cela notre mémoire de fin de cycle s'articulera sur quatre chapitres :

- Le premier chapitre aborde une étude bibliographique sur les polyphénols.

- Le deuxième chapitre englobe une revue bibliographique où nous apportons des données générales sur le stress oxydatif.
- Le troisième chapitre décrit le fruit étudié *Phoenix dactylifera* L. et ces propriétés en général.
- Le quatrième chapitre est consacré aux études antérieures traitant l'activité antioxydante des polyphénols du Deglet nour algérienne en comparaison avec Deglet nour tunisienne, les autres variétés de dattes cultivées en Algérie et en Tunisie et quelques aliments les plus consommés en Algérie.

Chapitre I :

Les polyphénols

I.1. Généralités

Les polyphénols sont des métabolites secondaires largement répandues dans le règne végétal (**El Gharras, 2009**). Nous pouvons les trouver dans les fruits, les légumes, les céréales et les boissons (**Han et al., 2007**) dont, ils sont responsable de l'amertume, la couleur, la saveur, l'odeur et même à la stabilité oxydative des aliments (**Pandey et Rizvi, 2009**). Les composés phénoliques sont présents dans toutes les parties des plantes mais avec une répartition quantitative qui varie entre les différents tissus (**Waksmundzka et Sherma, 2011**).

Plus de 8000 polyphénols ont été identifiés dans la nature (**Pandey et Rizvi, 2009**), allant de molécules simple de faibles poids moléculaire (acides phénoliques), aux composés hautement polymérisés (tanins) (**Dai et Mumper, 2010**). Ils sont classés dans de nombreuses classes, cependant la caractéristique structurelle typique partagée par ces classes est la présence d'un cycle benzénique, qui se lie directement avec un groupement hydroxyle (**Abbas et al., 2016**). La consommation accrue des polyphénols offrait une meilleure protection contre les maladies chroniques telles que le cancer, les maladies cardiovasculaires, le diabète et les maladies neurodégénératives (**Arts et Hollman, 2005**).

I.2. Structure et classification des polyphénols

La classification des polyphénols est basée essentiellement sur le nombre de cycles phénol qu'ils contiennent (**Pandey et Rizvi, 2009**), les éléments structuraux qui lient ces cycles (glucides, lipides, protéines... etc.) et le degré de modification du squelette phénolique (degré d'oxydation, d'hydroxylation et de méthylation... etc) (**Beta et al., 2005**).

Les composés phénoliques peuvent être répartis en deux grands groupes : les flavonoïdes et les non flavonoïdes (**Stagos, 2019**).

I.2.1. Flavonoïdes

Les flavonoïdes constituent le groupe de polyphénols le plus étudié (**Graf et al., 2005**). Ce groupe a une structure de base commune (C6-C3-C6), composée de deux cycles aromatiques A et B liés ensemble par trois atomes de carbone qui forment un hétérocycle oxygéné (**Tapas et al., 2008**). Plus de 4000 variétés de flavonoïdes ont été identifiées, dont beaucoup sont responsables des couleurs attrayantes des fleurs, des fruits et des feuilles (**Guignard, 1996**).

En fonction de la variation du type d'hétérocycle impliqué, les flavonoïdes peuvent être divisés en six sous-classes (**Figure 1**) : flavonols, flavones, flavanones, flavanols, anthocyanes et isoflavones (**Han et al., 2010**). Les différences individuelles au sein de chaque groupe proviennent de la variation du nombre et de la disposition des groupes hydroxyles et de leur degré d'alkylation et

/ ou de glycosylation (D'Archivio *et al.*, 2010). La quercétine, la myricétine, les catéchines....etc, sont certains des flavonoïdes les plus courants (Pandey et Rizvi, 2009).

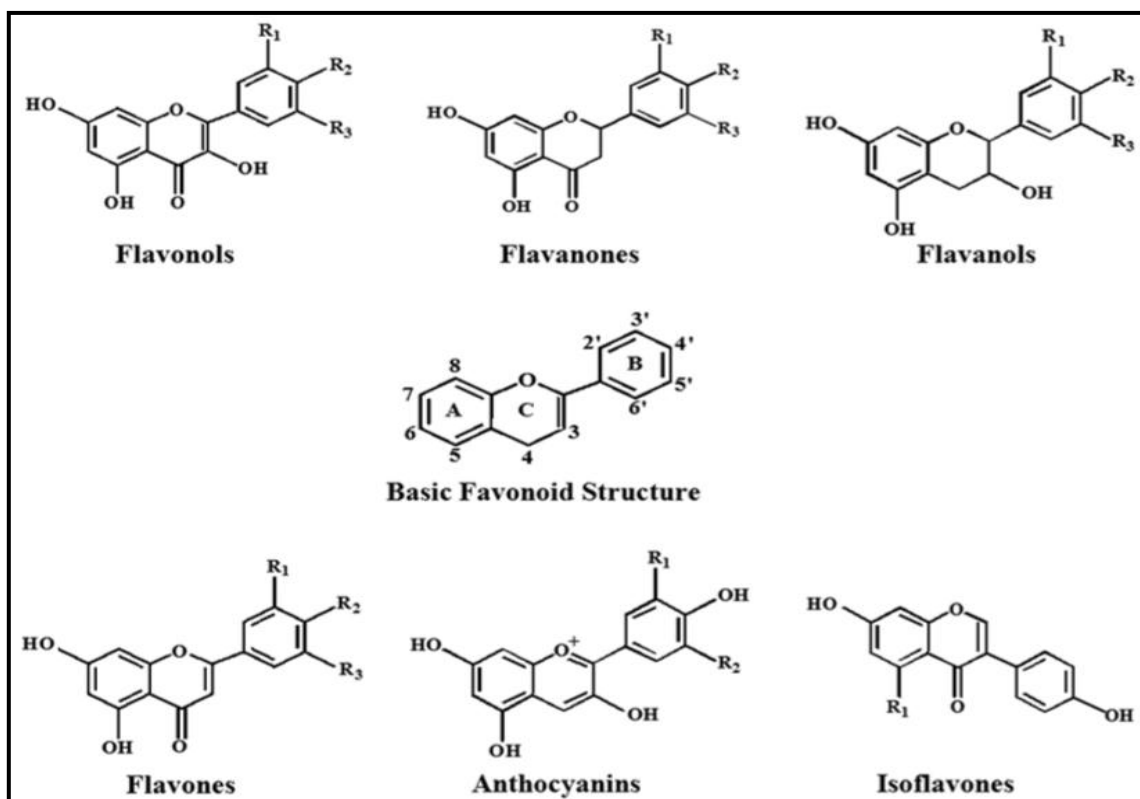


Figure 1 : Structures chimiques des sous-classes de flavonoïdes (Pandey et Rizvi, 2009).

I.2.2. Non flavonoïdes

I.2.2.1. Acides phénoliques

Les acides phénoliques sont des composés organiques simples, possédant au moins une fonction carboxylique et un hydroxyle phénolique. On distingue deux principales classes d'acides phénoliques ; les dérivés de l'acide benzoïque et les dérivés de l'acide cinnamique (Guignard, 1996).

A. Acides hydroxybenzoïques

Les acides hydroxybenzoïques sont des dérivés de l'acide benzoïque et qui ont une formule de base de type C6-C1 (Tableau I). Ils sont particulièrement présents chez les Gymnospermes et les Angiospermes sous forme d'esters ou de glycosides (Macheix *et al.*, 2005). Les principaux acides hydroxybenzoïques retrouvés dans les végétaux sont les acides : p-hydroxybenzoïque, protocatéchique, vanillique, gallique et syringique (El Gharras, 2009).

B. Acides hydroxycinnamiques

Les acides hydroxycinnamiques représentent une classe très importante, dont leur structure de base C6-C3 dérive de celle de l'acide cinnamique (**Tableau I**). Le degré d'hydroxylation du cycle benzénique est un élément important de la réactivité chimique de ces molécules. De plus, l'existence d'une double liaison dans la chaîne latérale conduit à deux séries d'isomères *cis* et *trans* (**Macheix et al., 2005**). Les acides hydroxycinnamiques sont plus courants chez les végétaux que les acides hydroxybenzoïques, et consistent principalement en des acides p-coumarique, caféique, férulique et sinapique (**Han et al., 2010**).

I.2.2.2. Tanins

Les tanins sont un groupe de polyphénols solubles dans l'eau, trouvés dans toutes les parties de la plante : l'écorce, le bois, les feuilles, les fruits et les racines (**Han et al., 2010**). Ils sont caractérisés par leurs poids moléculaire élevé (500-3000), leur saveur astringente et leur association aux glucides, protéines et aux enzymes digestives réduisant ainsi la digestibilité des aliments (**Lochab et al., 2014**). Les tanins peuvent être subdivisés en tanins hydrolysables et tanins condensés (**Tableau I**) (**Han et al., 2010**).

A. Tanins hydrolysables

Les tanins hydrolysables ou acides tanniques sont des polymères de l'acide gallique ou de son produit de condensation ; l'acide éllagique. Comme leur nom l'indique, ces tanins subissent facilement une hydrolyse acide et basique, sous l'action enzymatique et/ou de l'eau chaude (**Mukherjee, 2019**).

B. Tanins condensés

Tanins condensés ou proanthocyanidines (procyanidines) sont des polyphénols de masse molaire élevées. Ils résultent de la polymérisation enzymatique des unités de flavan-3,4-diol liées majoritairement par les liaisons C4-C8 (parfois C4-C6) des unités adjacentes (**Wollgast et Anklam, 2000**).

I.2.2.3. Stilbènes

Les stilbènes contiennent deux fractions phényle reliées par un pont méthylène à deux carbones (**Tableau I**). La présence de stilbènes dans l'alimentation humaine est assez faible (**Pandey et Rizvi, 2009**). La plupart des stilbènes des plantes agissent comme des phytoalexines antifongiques et antibactériens (**El Gharras, 2009**).

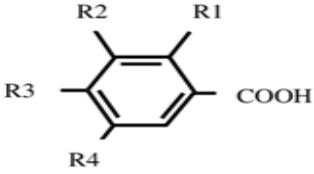
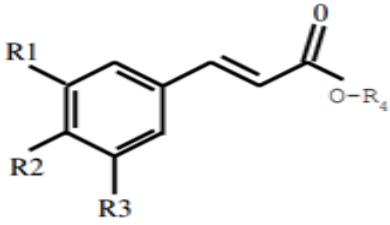
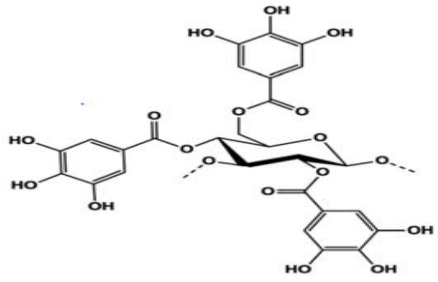
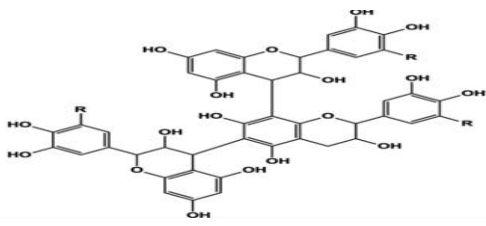
I.2.2.4. Lignines

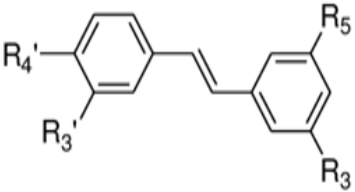
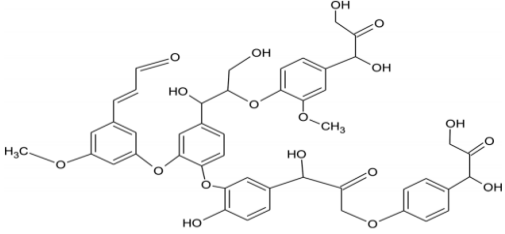
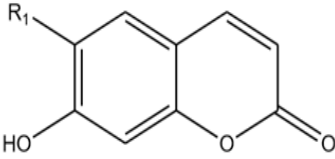
La lignine est un polymère fortement ramifié (**Tableau I**), formés par trois alcools phénoliques simples : l'alcool p-coumarylique, coniférylique et sinapylique (**Mahmood et al., 2018**). Ces alcools sont oxydés en radicaux libres par une enzyme ubiquiste chez les plantes ; la peroxydase. Les radicaux libres réagissent ensuite spontanément et au hasard pour former la lignine (**Hopkins, 2003**).

I.2.2.5. Coumarines

Les coumarines sont des hétérocycles oxygénés ayant comme structure de base le benzo-2-pyrone (**Tableau I**) (**Lacy, 2004**). Ce sont des composés phénoliques cyclisés qui dérivent des acides t-cinnamique et p-coumarique pour la majorité d'entre eux. Ils sont responsables pour l'odeur caractéristique du foin (**Cowan, 1999**).

Tableau I : Les différentes structures des classes des polyphénols.

Classe		Structure chimique
Acides phénoliques	Acides hydroxybenzoïques	
	Acides hydroxycinnamiques	
Tanins	Tanins hydrolysables	
	Tanins condensés	

<p style="text-align: center;">Stilbènes</p>	
<p style="text-align: center;">Lignines</p>	
<p style="text-align: center;">Coumarines</p>	

I.3. Devenir des polyphénols dans l'organisme

I.3.1. Absorption intestinale des polyphénols alimentaires

Il est tout d'abord important de rappeler qu'il est extrêmement rare de trouver des polyphénols sous forme non glycosylée dans les aliments (**Li *et al.*, 2014**). Ils sont par ailleurs glycosylés par différents sucres ou ils peuvent être présents sous forme de polymères. Cette grande variabilité dans la nature des formes alimentaires de polyphénols s'accompagne d'une grande variabilité des mécanismes et des sites de leur absorption (**Manach *et al.*, 2004**).

En effet, les polyphénols non glycosylés peuvent être pénétrer dans les cellules épithéliales de l'intestin grêle, par diffusion passive en raison de leur lipophilicité accrue (**Borel, 2014**). Tandis que, pour les formes glycosylées, seul la nature des sucres liés aux polyphénols qui détermine leur processus d'absorption. Donc, certains composés phénoliques glycosylés peuvent être hydrolysés et absorbés facilement au niveau de l'intestin grêle grâce aux glycosidases intestinales (**Figure 9**) (**D'Archivio *et al.*, 2010**). En revanche, certains d'autres qui sont liés avec le rhamnose, l'arabinose ou le xylose ne peuvent pas être dégradés en acides phénoliques simples que par des glycosidases de la microflore colique (**Abbas *et al.*, 2016**). L'absorption des polyphénols dans le côlon se produit moins facilement que dans l'intestin grêle, en raison d'une zone d'échange plus petite et d'une densité plus faible des systèmes de transport (**Shahidi et Yeo, 2018**).

I.3.2. Métabolisme et conjugaison des polyphénols

Après l'absorption et avant leur passage dans la circulation sanguine, les polyphénols qui sont maintenant des aglycones simples subissent un métabolisme représenté dans des modifications structurales dues au processus de conjugaison qui a lieu dans l'intestin grêle et principalement dans le foie (**Pandey et Rizvi, 2009**). La conjugaison qui comprend la méthylation, la sulfatation et la glucuronidation représente un processus de détoxification métabolique commun à de nombreux xénobiotiques, qui limitent leurs effets toxiques potentiels et facilite leur élimination biliaire et urinaire (**Figure 2**) (**Borel, 2014**).

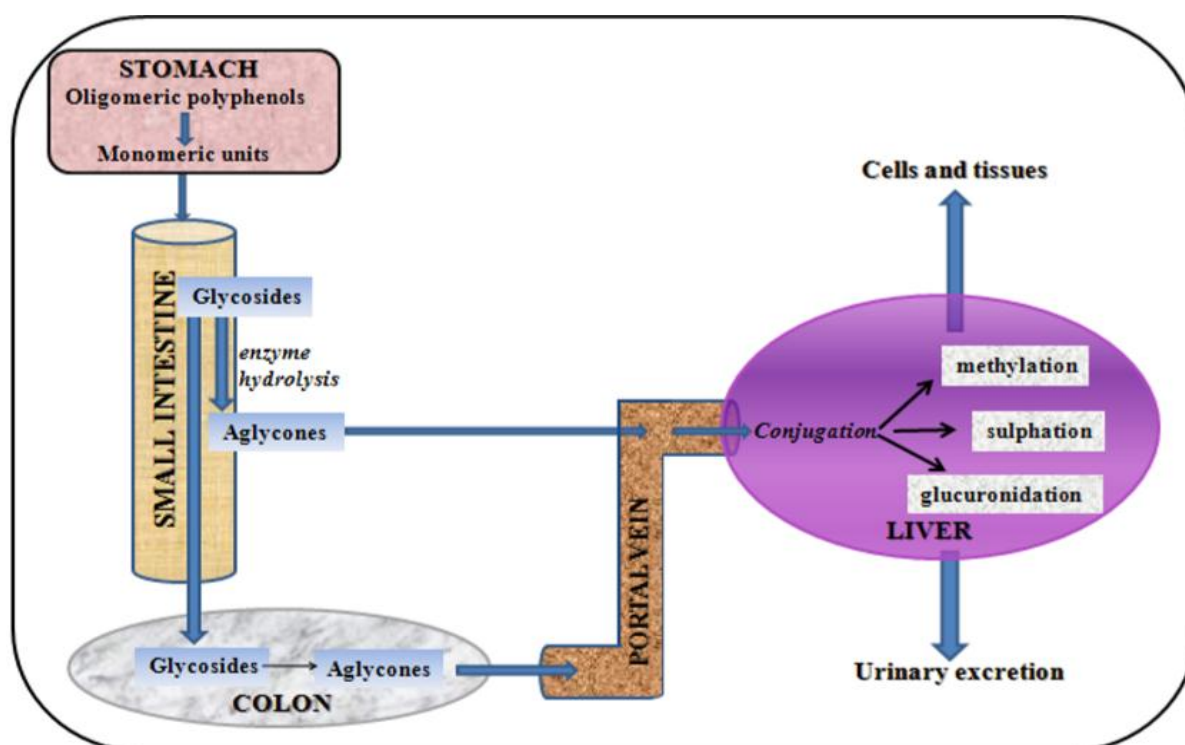


Figure 2 : Schéma explicatif du devenir des polyphénols dans l'organisme (**D'Archivio et al., 2010**).

I.3.2.1. Mécanismes de conjugaison des métabolites phénoliques

A. Méthylation

La catéchol-O-méthyl transférase (COMT) catalyse le transfert d'un groupement méthyle de la S-adénosyl-L-méthionine (SAM) aux polyphénols (**Manach et al., 2004**). Cette enzyme est présente dans un large éventail de tissus mais son activité est plus élevée dans le foie (**D'Archivio et al., 2010**). La méthylation se produit principalement en position 3' du polyphénol mais elle peut être produite également en position 4' (**Figure 10**) (**Pandey et Rizvi, 2009**).

B. Sulfatation

Les sulfo-transférases (SULT) catalysent le transfert d'un fragment sulfate du phospho-adénosine-phosphosulfate à un groupement hydroxyle sur divers substrats, parmi lesquels les polyphénols (**Figure 10**) (Manach *et al.*, 2004). La sulfatation des polyphénols se produit principalement dans le foie (Pandey et Rizvi, 2009).

C. Glucuronidation

Les uridine-5'-diphosphate glucuronosyl transférases (UGT) sont des enzymes liées à la membrane du RE de nombreux tissus. Ils catalysent le transfert d'un acide glucuronique aux composés phénoliques (**Figure 3**) (Manach *et al.*, 2004). La glucuronidation des polyphénols se produit d'abord dans l'intestin avant de se conjuguer d'avantage dans le foie (D'Archivio *et al.*, 2010).

Le processus de conjugaison d'une part, produise des métabolites actifs à partir de certains polyphénols alimentaires. D'autre part, il réduit la quantité totale de polyphénols dans le sang en augmentant leur excrétion (Pandey et Rizvi, 2009).

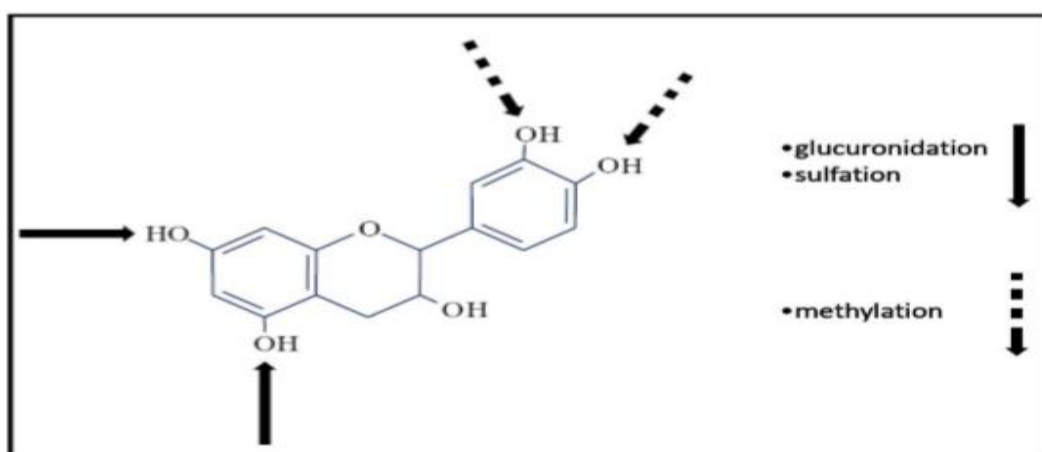


Figure 3 : Schéma explicatif des sites potentiels du processus de conjugaison des polyphénols (D'Archivio *et al.* 2010).

I.3.3. Absorption tissulaire des polyphénols

Les métabolites des polyphénols après leur conjugaison passent à la circulation sanguine en se liant avec certaines protéines ; en particulier l'albumine, qui joue un rôle important dans la biodisponibilité des polyphénols (Abbas *et al.*, 2016). L'affinité des polyphénols pour l'albumine varie selon leur structure chimique, ainsi qu'elle peut avoir des conséquences sur le taux de clairance des métabolites et sur leur libération dans les cellules et les tissus (Pandey et Rizvi, 2009).

L'accumulation des polyphénols dans les tissus est la phase la plus importante du métabolisme des polyphénols (Pandey et Rizvi, 2009). Des études ont montré que lorsque des doses uniques de polyphénols radiomarqués (quercétine, épigallocatechine gallate (EGCG), resvératrol) sont administrées à des rats ou à des souris tués, 1 à 6 h plus tard ; la radioactivité est principalement récupérée dans le sang et dans les tissus du système digestif tels que l'estomac, l'intestin et le foie. Les analyses par HPLC détectent également la présence des polyphénols dans un large éventail de tissus chez la souris et le rat, y compris le cerveau, les cellules endothéliales, le cœur, les reins, la rate, le pancréas, la prostate, l'utérus, l'ovaire, la glande mammaire, les testicules, la vessie, l'os et la peau (Manach *et al.*, 2004).

I.3.4. Elimination des polyphénols

Les métabolites des polyphénols peuvent suivre deux voies d'excrétion ; la voie biliaire et / ou la voie urinaire (Li *et al.*, 2014). Les gros métabolites largement conjugués sont éliminés dans la bile, tandis que, les petits conjugués tels que les monosulfates sont plus susceptibles d'être excrétés dans les urines (Manach *et al.*, 2004). Les effets bénéfiques pour la santé des polyphénols dépendent à la fois de leur apport et de leur biodisponibilité (Pandey et Rizvi, 2009).

I.4. Rôles biologiques des polyphénols alimentaires

Les polyphénols naturels ont montré de nombreuses activités bénéfiques pour la santé (Figure 4) (Li *et al.*, 2014). Des études épidémiologiques suggèrent qu'un apport alimentaire élevé en polyphénols est associé à une diminution du risque d'une série de maladies (Vauzour *et al.*, 2010).

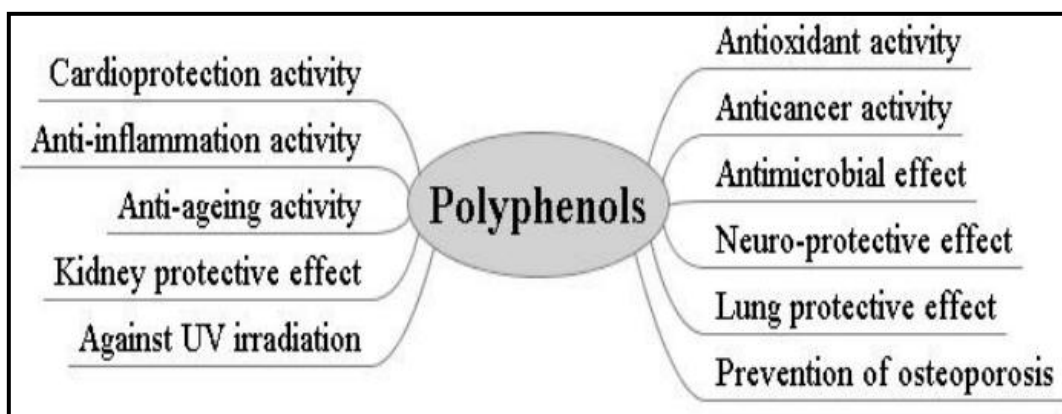


Figure 4 : Activités biologiques des polyphénols naturels (Li *et al.*, 2014).

I.4.1. Polyphénols et maladies cardiovasculaires

Les maladies cardiovasculaires sont la principale cause de mortalité et de morbidité dans le monde. Diverses études épidémiologiques ont montré qu'il existe une corrélation inverse entre la

consommation d'aliments riches en polyphénols et le risque de développement des maladies cardiovasculaires (Arts et Hollman, 2005).

Les polyphénols sont en effet, capables d'abaisser la pression artérielle (Diebolt *et al.*, 2001), d'empêcher l'oxydation des lipoprotéines de basse densité (LDL) (Iijima *et al.*, 2000), d'empêcher l'agrégation plaquettaire, de stabiliser les cellules immunitaires et de promouvoir le relâchement des cellules musculaires lisses (Andriambelason *et al.*, 1997). Leurs propriétés sont liées au fait qu'ils peuvent moduler l'activité de nombreuses protéines intracellulaires (les protéines kinases, les phospholipases, l'adénylate cyclase, les ATPases, les cyclo-oxygénases (COX) et le cytochrome P450) (Martin et Andriantsitohaina, 2002).

Au niveau des cellules endothéliales, les polyphénols sont capables de moduler l'activité, l'expression et/ou la sécrétion de divers facteurs impliqués dans le maintien d'une surface endothéliale anticoagulante, fibrinolytique et par conséquent anti-thrombogène (Martin et Andriantsitohaina, 2002). Par exemple, ils abolissent l'expression du facteur tissulaire, initiant la cascade de la coagulation ou de molécules d'adhésion (tels que ICAM-1, VCAM-1 ou la E-sélectine), permettant le recrutement et l'adhésion des cellules du sang circulant. Les polyphénols et les anthocyanes ont été décrits comme étant de puissants protecteurs du système cardiovasculaire (Figure 5). Cela n'est pas uniquement lié à leurs effets sur les macromolécules (comme les LDL oxydées) ou sur les cellules circulantes (les leucocytes et les plaquettes) mais également à leur capacité d'agir directement sur l'endothélium vasculaire (Han *et al.*, 2007).

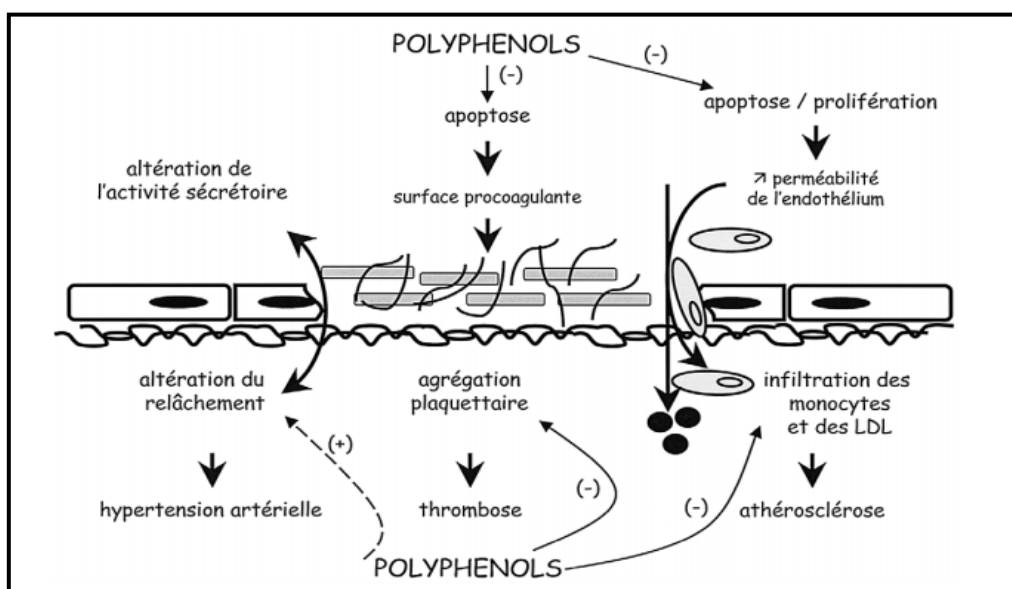


Figure 5 : Effet des polyphénols dans le maintien de l'intégrité de l'endothélium vasculaire (Martin *et al.*, 2002). (-) Effet inhibiteur des polyphénols, (+) montrent l'amélioration de la vasodilatation endothéliale par les polyphénols.

I.4.2. Polyphénols et cancer

Le cancer fait référence à un groupe de maladies associées à une prolifération cellulaire incontrôlée (Abbas *et al.*, 2016). Au cours des 20 dernières années, des études cas-témoins ont montré que la consommation des polyphénols a une relation inverse avec la progression de plusieurs types de cancer (Vauzour *et al.*, 2010).

Les polyphénols peuvent exercer les effets anticancéreux via divers mécanismes, notamment l'élimination des agents cancérigènes, la modulation de la signalisation des cellules cancéreuses, la progression du cycle cellulaire, la promotion de l'apoptose et la modulation des activités enzymatiques (Vauzour *et al.*, 2010). Par exemple, l'augmentation de l'activité enzymatique de la glutathion peroxydase, de la catalase, de la NADPH-quinone oxydoréductase (Han *et al.*, 2007), de la glutathion S-transférase et / ou du cytochrome P450 par les polyphénols peut aider à la détoxification des agents cancérigènes (Abbas *et al.*, 2016). En outre, ils peuvent moduler l'activité des voies de signalisation c'est-à-dire la MAPK kinase et PI3 Kinase qui sont impliquées dans la prolifération des cellules cancéreuses (Vauzour *et al.*, 2010).

I.4.3. Polyphénols et maladies neurodégénératives

Récemment, les effets neuroprotecteurs des polyphénols alimentaires ont suscité un intérêt considérable, en particulier dans le contexte de leurs modes d'action en tant qu'antioxydants (Hartman *et al.*, 2006). Le resvératrol a eu un impact sur les déficits cognitifs en activant la phosphorylation de la protéine kinase C (PKC), en sécrétant de la transthyréline pour empêcher l'agrégation de la protéines bêta amyloïde (β A) dans les cellules hippocampales de rats en culture (Bastianetto *et al.*, 2007) et en stimulant l'activité de l'AMP kinase dans les neurones primaires. L'EGCG a stimulé l'activité de désacétylase de la protéine recombinante sirtuine 1 (SIRT1) dans les cellules HT29 humaines (De Boer *et al.*, 2006). La curcumine avaient été considérés comme des agents thérapeutiques pour modifier les processus de vieillissement du cerveau et comme des agents neuroprotecteurs possibles dans les troubles neurodégénératifs progressifs tels que les maladies de Parkinson et d'Alzheimer (Han *et al.*, 2007).

I.4.4. Polyphénols et activité antioxydante

Afin de combattre et de neutraliser les effets délétères des espèces réactives de l'oxygène (ERO), diverses stratégies antioxydantes ont été évoluées ; en augmentant les défenses enzymatiques antioxydantes endogènes et/ou en renforçant les défenses non enzymatiques par des moyens diététiques ou pharmacologiques (Li *et al.*, 2014).

Il a été rapporté que les polyphénols alimentaires possèdent une puissante activité antioxydante, représentée dans leurs capacités à neutraliser les radicaux libres et leurs capacités à chélater les métaux ioniques impliqués dans la production des ERO (Huang *et al.*, 2004). Les polyphénols sont également contribués par leurs pouvoir antioxydant dans l'inhibition des enzymes productrices des espèces réactives de l'oxygène (telles que : la xanthine oxydase et le NADPH oxydase), ainsi que l'induction des enzymes antioxydants qui éliminent ces espèces réactives (telles que : le superoxyde dismutase, la catalase et le glutathion peroxydase) (Sandoval-Acuña *et al.*, 2014).

I.4.4.1. Mécanismes antioxydants des polyphénols

A. Piégeage des radicaux libres

Les polyphénols sont des puissants antioxydants qui peuvent neutraliser les radicaux libres selon deux mécanismes principaux. Le premier est basé sur la capacité de la fonction phénol à donner un atome d'hydrogène à un radical libre (Belščak-Cvitanović *et al.*, 2018). Grâce à ce mécanisme le composé phénolique devient lui-même un radical libre appelé le radical phénoxy du polyphénol qui est après avoir réagi avec un second radical, une structure quinone stable se forme (Sandoval-Acuña *et al.*, 2014). Le deuxième mécanisme est le transfert d'un seul électron d'un composé phénolique à un radical libre avec formation d'un cation radicalaire stable. L'énergie de dissociation des liaisons et le potentiel d'ionisation (IP) du phénol sont les deux paramètres physicochimiques de base qui peuvent être utilisés pour déterminer respectivement l'efficacité potentielle de chaque processus (Quideau *et al.*, 2011).

B. Chélation des ions métalliques

En plus du piégeage radicalaire, l'activité antioxydante des composés phénoliques peut être résulter aussi de leurs capacités à chélater et / ou à réduire les ions métalliques ; le cuivre et le fer (Gülçin, 2006) qui génèrent les radicaux hydroxyles (OH[•]) très réactifs à partir du peroxyde d'hydrogène (H₂O₂) par une réaction appelée la réaction de Fenton (Craft *et al.*, 2012) :



Il a été constaté que les flavonoïdes peuvent chélater les métaux et le succès de ce processus dépend du nombre de groupes hydroxyle et du pH du milieu (Olszowy, 2019). Le site de liaison proposé pour les ions métalliques aux flavonoïdes est le fragment 3', 4'-di OH dans le cycle B. De plus, les groupes OH en C-3 et C-5 et le groupe 4-carbonyle contribuent également à la chélation des ions métalliques. Van Acker et ces collaborateurs (1996) ont démontré que le 3-OH dans le

cycle C et la fraction catéchol (3', 4'-di OH) dans le cycle B sont les plus importants pour la chélation des métaux. La majorité des flavonoïdes ont une capacité de réduction plus élevée pour les ions du cuivre que pour les ions du fer en raison des potentiels de réduction standard du cuivre et du fer. Le potentiel du couple $\text{Cu}^{2+} / \text{Cu}$ (0,15 V) est bien inférieur à celui du $\text{Fe}^{3+} / \text{Fe}$ (+ 0,77 V) (Belščak-Cvitanović *et al.*, 2018).

C. Inhibition des enzymes productrices des ERO

Les polyphénols jouent un rôle important dans le processus d'inhibition des enzymes génératrices des ERO dans les systèmes biologiques en formant des complexes inhibiteur-enzyme (Lin *et al.*, 2002). Cette action est mise en évidence dans le cas de la xanthine oxydase qui est impliqué dans la lésion oxydative des tissus lors de la reperfusion post-ischémique. Certains flavonoïdes comme par exemple, l'apigénine, la lutéoline et le kaempférol peuvent agir en tant qu'inhibiteurs compétitifs de cette enzyme en empêchant la fixation de son substrat spécifique qui est la xanthine (Sandoval-Acuña *et al.*, 2014). D'autres flavonoïdes tels que l'apocynine et l'épicatéchine sont connus également pour leurs pouvoirs d'inhiber l'activité du NADPH oxydase, en interférant avec l'assemblage ou en inhibant l'expression de ses différentes sous-unités (Steffen *et al.*, 2008). La monoamine oxydase (liée aux mitochondries) est une autre enzyme productrice des ERO et qui est sensible à la modulation inhibitrice de certains polyphénols comme par exemple, la cyanidine et la curcumine (Sandoval-Acuña *et al.*, 2014).

Chapitre II :
Le stress oxydatif

II.1. Généralités

Le stress oxydatif est défini comme un déséquilibre entre la production des espèces réactives de l'oxygène dans les cellules et les tissus et la capacité du système biologique antioxydant à détoxifier ces produits réactifs (**Pizzino *et al.*, 2017**). Dans la plupart des organismes, ces espèces sont nécessaires à des concentrations modérées pour plusieurs fonctions cellulaires importantes (**Preiser, 2012**). En effet, lorsqu'elles sont produites en excès et ne sont pas étroitement contrôlées par les systèmes de défense, les ERO peuvent endommager divers composants cellulaires (ADN, lipides, protéines) et provoquer ainsi plusieurs maladies dégénératives (**Burton et Jauniaux, 2011**).

II.2. Espèces réactives de l'oxygène

Les espèces réactives de l'oxygène sont des produits d'activation de l'oxygène moléculaire par le biais du métabolisme cellulaire normal (**Preiser, 2012**). Elles peuvent être divisées en deux formes : radicalaire et non radicalaire (**Tableau II**). La forme radicalaire comprend les radicaux libres ; qui sont des espèces chimiques (atomes ou molécules) possédant un électron non apparié sur leur orbite externe (**Figure 6**) (**Burton et Jauniaux, 2011**).

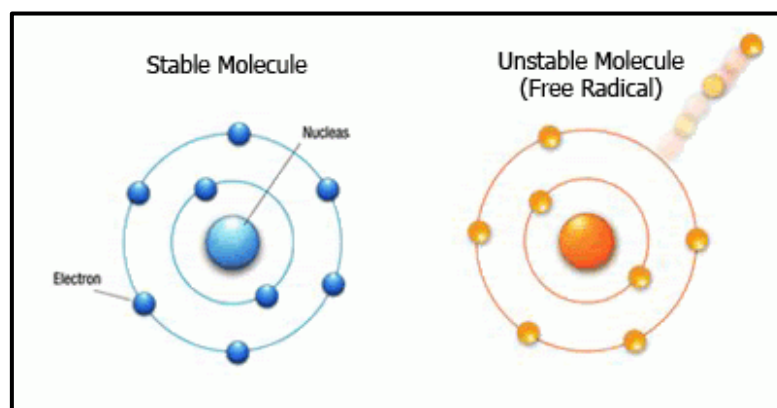


Figure 6 : Schéma explicatif de la formation d'un radical libre (**Burton et Jauniaux, 2011**).

Le nombre impair des électrons d'un radical libre le rend instable, très réactif et capable d'extraire des électrons d'autres composés pour atteindre sa stabilité. Ainsi, la molécule attaquée perd son électron et devient elle-même un radical libre, déclenchant une cascade de réactions en chaîne qui endommage finalement la cellule vivante (**Phaniendra *et al.*, 2014**). Lorsque deux radicaux libres partagent leurs électrons non appariés, ils vont créer les formes non radicalaires (**Burton et Jauniaux, 2011**).

Tableau II : Liste des formes radicalaires et non radicalaires des ERO et ERN (Preiser, 2012).

	Formes radicalaires		Formes non radicalaires	
ERO	Anion superoxyde	$O_2^{\cdot-}$	Oxygène singulet	1O_2
	Dioxyde de carbone	$CO_2^{\cdot-}$	Hydroperoxyde	ROOH
	Radical alcoxyle	RO\cdot	Ozone	O$_3$
	Radical hydroxyle	OH\cdot	Peroxyde d'hydrogène	H$_2$O$_2$
	Radical peroxyde	ROO\cdot	Acide hypochlorique	HOCL
ERN	Monoxyde d'azote	NO\cdot	Peroxynitrite	ONOO\cdot
	Dioxyde d'azote	NO$_2$	Trioxyde de diazote	N$_2$O$_3$

II.3. Origines des espèces réactives de l'oxygène

II.3.1. Origines endogènes

Les espèces réactives de l'oxygène d'origine endogène peuvent avoir deux sources enzymatique et non enzymatique. La source enzymatique comprend les enzymes qui stimulent les réactions génératrices d'ERO comme la xanthine oxydase et le NADPH oxydase, tandis que la source non enzymatique inclut les organes cellulaires tels que la mitochondrie, le peroxysome et le RE où la consommation d'oxygène est élevée (Figure 7) (Bhattacharyya *et al.*, 2014).

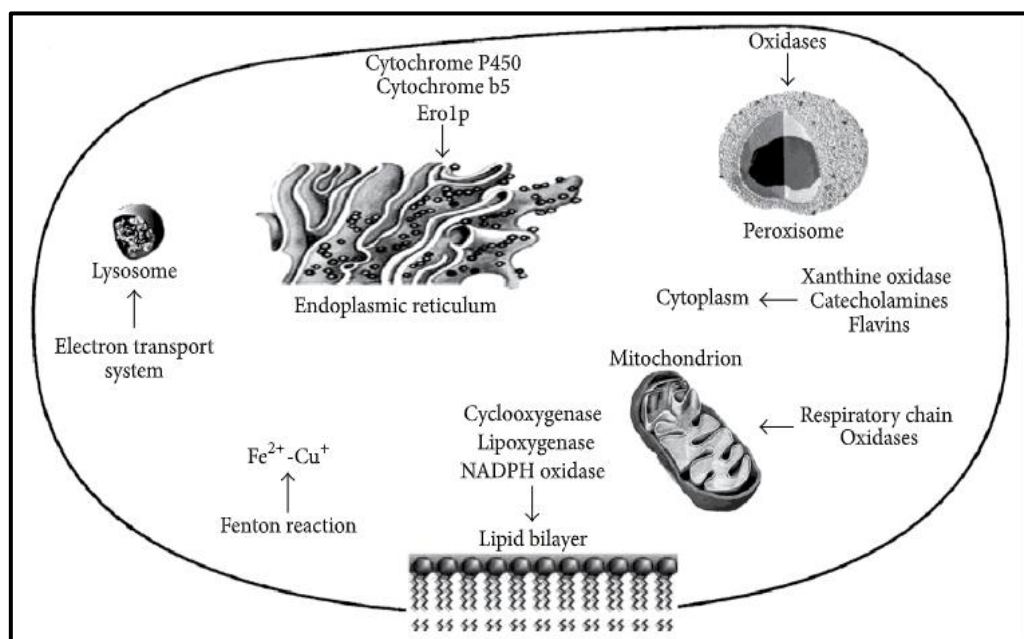


Figure 7 : Origines endogènes des ERO (Di Meo *et al.*, 2016).

II.3.1.1. Sources enzymatiques

A. Xanthine oxydase

La xanthine oxydase (XO) est une enzyme cytosolique, exprimée principalement dans le foie et la muqueuse intestinale. Elle catalyse l'oxydation de l'hypoxanthine (HX) en xanthine puis en acide urique lors du catabolisme des purines en générant ainsi l'anion superoxyde ($O_2^{\cdot-}$) (**Bhattacharyya et al., 2014**).

Dans les conditions physiologiques, la xanthine oxydase déshydrogénase (XDH) est l'enzyme impliquée dans la dégradation de l'hypoxanthine en acide urique dans le métabolisme des purines (**Tamion, 2003**). En aérobiose, la XDH utilise le nicotinamide adénine dinucléotide (NAD) comme accepteur d'électron et non une molécule d'oxygène, évitant ainsi la formation d'oxygène superoxyde. En anaérobiose, la XDH est convertie en XO soit par un mécanisme réversible d'oxydation, soit par un mécanisme irréversible de protéolyse (via des protéases Ca^{2+} dépendantes) (**Nielsen et al., 1996**). Au cours de l'ischémie, on observe une accumulation cellulaire d'hypoxanthine et de XO (**Figure 8**). Lors de la reperfusion, la XO métabolise l'hypoxanthine en anion superoxyde et en peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) (**Bhattacharyya et al., 2014**). Ces molécules sont les précurseurs du radical hydroxyle (OH^{\cdot}) impliqué dans la plupart des lésions tissulaires (**Tamion, 2003**).

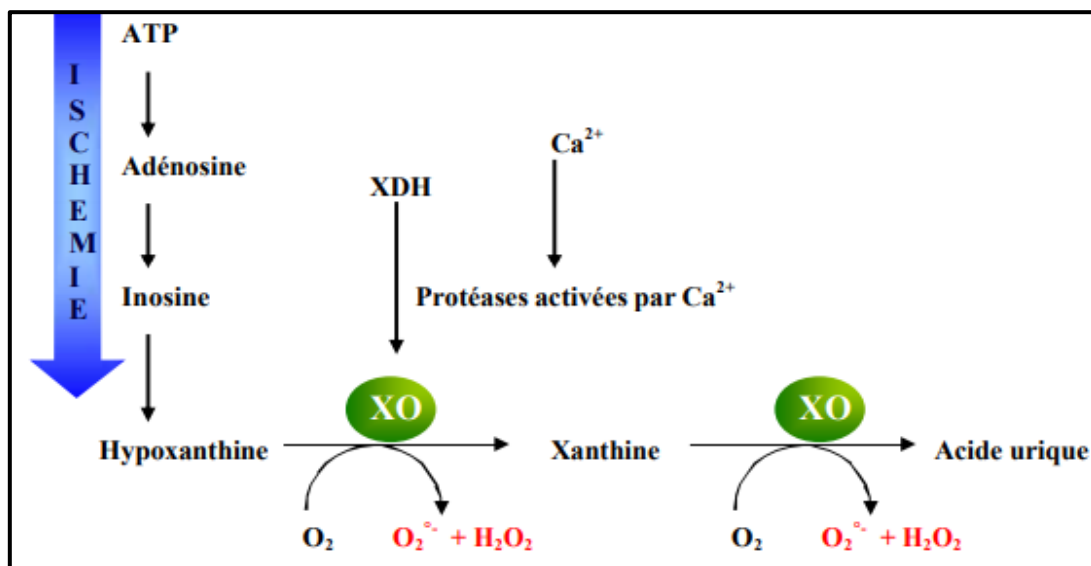


Figure 8 : Mécanisme de génération des ERO par la XO dans les tissus lors du processus d'ischémie (**Tamion, 2003**).

B. NADPH oxydase

Le nicotinamide adénine dinucléotide phosphate réduit (NADPH) oxydase est une enzyme présente dans les phagocytes et catalyse la production de l'anion superoxyde ($O_2^{\cdot-}$) à partir de l'oxygène, en utilisant le NADPH ou le NADH comme donneur d'électrons, selon la réaction suivante (**Babior, 2004**) :



Elle fournit donc aux phagocytes professionnels (neutrophiles, éosinophiles, monocytes et macrophages) des agents qui tuent les micro-organismes pathogènes (**Bhattacharyya et al., 2014**). Les agents oxydants générés par la NADPH oxydase comprennent aussi le H_2O_2 qui est produit par la dismutation du superoxyde (**Babior, 2004**) :



II.3.1.2. Sources non enzymatiques

A. Mitochondrie

Les éléments clés dans le fonctionnement de la mitochondrie sont d'une part, les réactions enzymatiques d'oxydation des substrats et d'autre part, la chaîne du transport des électrons ou la chaîne respiratoire (**Di Meo et al., 2016**). Cette dernière joue un rôle capital dans la cellule en fournissant une source essentielle d'ATP (adénosine triphosphate). Dans les conditions physiologiques, environ 0.4 à 4% d'électrons s'échappent lors de la production d'énergie (**Phaniendra et al., 2014**). Cependant, pour certain cas, la fuite d'électrons devient plus importante et les électrons qui s'échappent à partir du complexe I (NADH déshydrogénase) et du complexe III (ubiquinone cytochrome c réductase) deviennent plus élevé, de sorte qu'ils interagissent directement avec l'oxygène dissous dans le cytoplasme pour donner naissance à l'anion superoxyde. La dismutation de $O^{\cdot-2}$ par les superoxydes dismutases conduit à la production de H_2O_2 (**Figure 9**) (**Ott et al., 2007**). L'interaction ultérieure de H_2O_2 et de $O^{\cdot-2}$ dans une réaction de Haber-Weiss peut générer le radical hydroxyle (OH^{\cdot}) hautement réactif et termine par un stress à la fin. La production de ces espèces réactives est nettement accélérée lors de la réduction du flux respiratoires notamment au cours des maladies génétiques (**Tamion, 2003**).

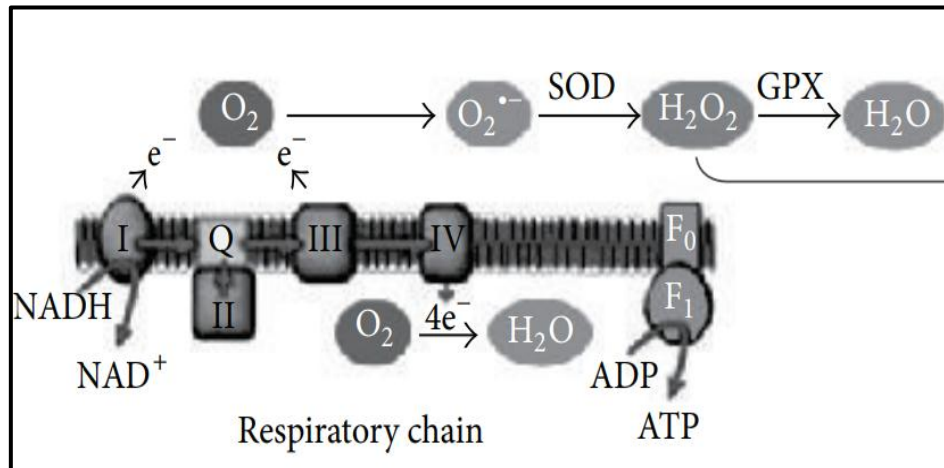


Figure 9 : Synthèse des ERO par la chaîne respiratoire mitochondriale (Di Meo *et al.*, 2016).

B. Peroxysome

Le peroxysome est un organite cellulaire délimité par une seule membrane et présent dans toutes les cellules de l'organisme (Di Meo *et al.*, 2016). Il se caractérise par sa consommation d'oxygène et sa génération d'ERO (H₂O₂) via l'acyl-CoA oxydase au cours du processus de la β -oxydation peroxisomale (Phaniendra *et al.*, 2014).

C. Réticulum endoplasmique

Dans ce compartiment, les enzymes les plus productives des ERO appartiennent à la famille des cytochromes P450 (enzymes d'oxydation des acides gras insaturés) qui réduisent l'oxygène moléculaire pour former l'O^{2•-} et/ou l'H₂O₂ (Phaniendra *et al.*, 2014).

La production d'ERO dans le RE est normalement neutralisée par les composants du système antioxydant, mais dans certaines conditions comme par exemple l'accumulation des protéines mal repliées dans la lumière du RE, le taux des espèces réactives de l'oxygène produites augmente considérablement et cause l'apparition du stress oxydatif (Bhandary *et al.*, 2012).

II.3.2. Origines exogènes

Les sources exogènes des ERO restent cependant minoritaires en comparaison aux sources endogènes (Bhattacharyya *et al.*, 2014). Ils sont principalement des pro-oxydants environnementaux tels que les pesticides, les métaux lourds (le fer, le cuivre, le cadmium, le mercure, et l'arsenic), la fumée de cigarette, l'alcool, les poussières (Liguori *et al.*, 2018) et les rayonnements solaires et électromagnétiques (lumière ultraviolette). Certains médicaments tels que la cyclosporine, le tacrolimus, la gentamycine et la bléomycine peuvent également être considérés comme une source de dérivés réactifs de l'oxygène (Phaniendra *et al.*, 2014).

II.4. Rôles physiologiques des espèces réactives de l'oxygène

Il est évident que le stress oxydatif est nocif pour l'organisme et participe à l'apparition et/ou à l'aggravation de plusieurs pathologies (Roy *et al.*, 2017). Cependant, plusieurs études récentes montrent que les espèces réactives de l'oxygène lorsqu'elles sont contrôlées par les systèmes antioxydants et maintenues à des concentrations faibles ou modérées, peuvent jouer un rôle crucial dans la régulation de nombreux processus cellulaires (Pizzino *et al.*, 2017) tels que : la régulation du tonus vasculaire, l'adhésion plaquettaire, la modulation de l'apoptose et la relaxation des muscles lisses (elles agissent sur le couplage excitation-contraction au niveau des fibres musculaires) (Migdal et Serres, 2011). Les ERO sont impliquées également dans de nombreuses voies de signalisation intracellulaires (Pizzino *et al.*, 2017) et utilisées lors de la phagocytose par les cellules phagocytaires comme des agents de défense naturels dans la lutte contre les microbes (Zuo *et al.*, 2015).

II.5. Rôles pathologiques des espèces réactives de l'oxygène

Suite à l'exposition aux facteurs du stress chroniques ou intenses, la quantité des espèces réactives de l'oxygène produite par les cellules de l'organisme dépassent les capacités antioxydantes nécessaires pour les neutraliser (Zuo *et al.*, 2015), ce qui donne l'apparition du stress oxydatif qui affecte négativement plusieurs structures cellulaires; lipides, protéines et ADN, et conduit à des perturbations fonctionnelles au niveau tissulaires traduites par des pathologies, tel que : le cancer, les maladies cardiovasculaires et les maladies neurodégénératives (Figure 10) (Pizzino *et al.*, 2017).

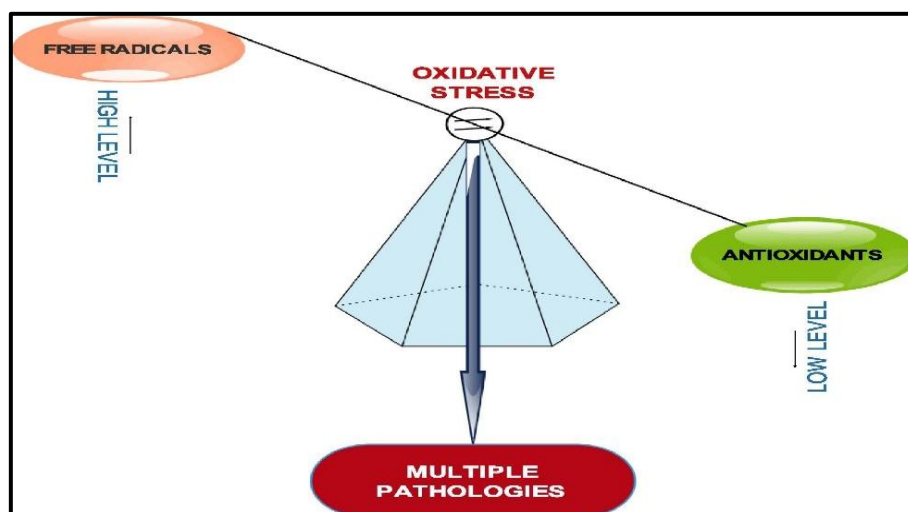


Figure 10 : Déséquilibre de la balance entre les ERO et les antioxydants (Ighodaro et Akinloye, 2017).

II.5.1. Effet du stress oxydatif sur les composants cellulaires

II.5.1.1. Oxydation d'ADN

Bien que l'ADN soit une molécule stable et bien protégée, les ERO peuvent interagir avec elle et entraînent des dommages sur ses divers composants et même peuvent interagir et empêcher sa réparation (**Kohen et Nyska, 2002**). Les dommages peuvent être résulter soit à l'attaque radicalaire des liaisons entre les bases et le sucre désoxyribose créant un site abasique, soit à l'attaque du sucre lui-même, résultant des coupures de l'ADN simple ou double brins (**Therond, 2006**), soit à l'oxydation des bases engendrant des bases modifiées. Parmi les quatre bases nucléotidiques de l'ADN, la guanine est la plus sensible aux attaques radicalaires du radical hydroxyle, en engendrant différents types d'adduits ; telle que la 8-hydroxyguanine (8OH-G) (**Figure 11**) qui se caractérise par sa liaison avec l'adénine au lieu de la cytosine entraînant des mutations au sein de l'ADN et conduisant à des altérations du message génétique (**Haleng et al., 2007**).

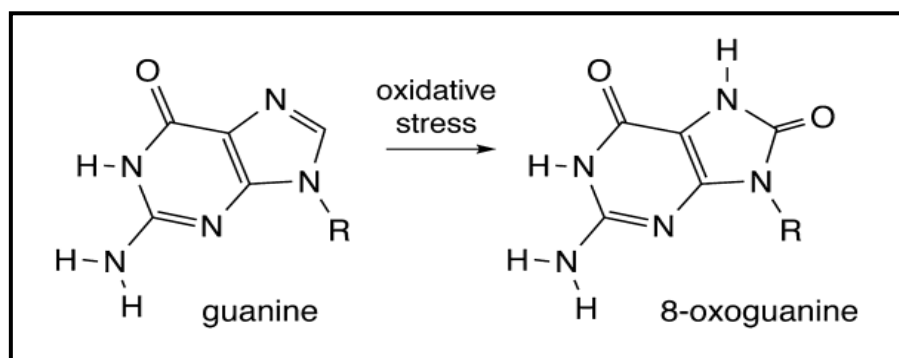


Figure 11 : Attaque radicalaire de la guanine et la formation de la 8OH-G (**Lanier et Williams, 2017**)

II.5.1.2. Peroxydation des lipides

Tandis que le stress oxydatif peut stimuler l'oxydation de tous les lipides cellulaires, néanmoins les lipides membranaires sont les plus sensibles aux attaques radicalaires en raison de leur forte teneur en acides gras polyinsaturés (AGPI) (**Kohen et Nyska, 2002**).

La peroxydation lipidique implique la capacité d'un métabolite réactif de l'oxygène d'arracher un atome d'hydrogène (H) sur les carbones situés entre deux doubles liaisons des AGPI pour former un radical diène conjugué (**Kohen et Nyska, 2002**). Ce dernier peut réagir avec une molécule d'oxygène pour former un radical peroxyde (ROO•) suffisamment réactif pour arracher un autre atome d'H d'un AGPI voisin, propageant ainsi la réaction (**Therond, 2006**), il en résulte une altération de la fluidité membranaire qui conduit inévitablement à la mort cellulaire. Les peroxydes générés seront neutralisés par le glutathion peroxydase ou continueront à s'oxyder et à se

fragmenter en aldéhydes (malondialdéhyde (MDA), 4-hydroxynonéal) (**Figure 12**) dont leurs activités pro-athérogènes sont bien connues (**Haleng et al., 2007**).

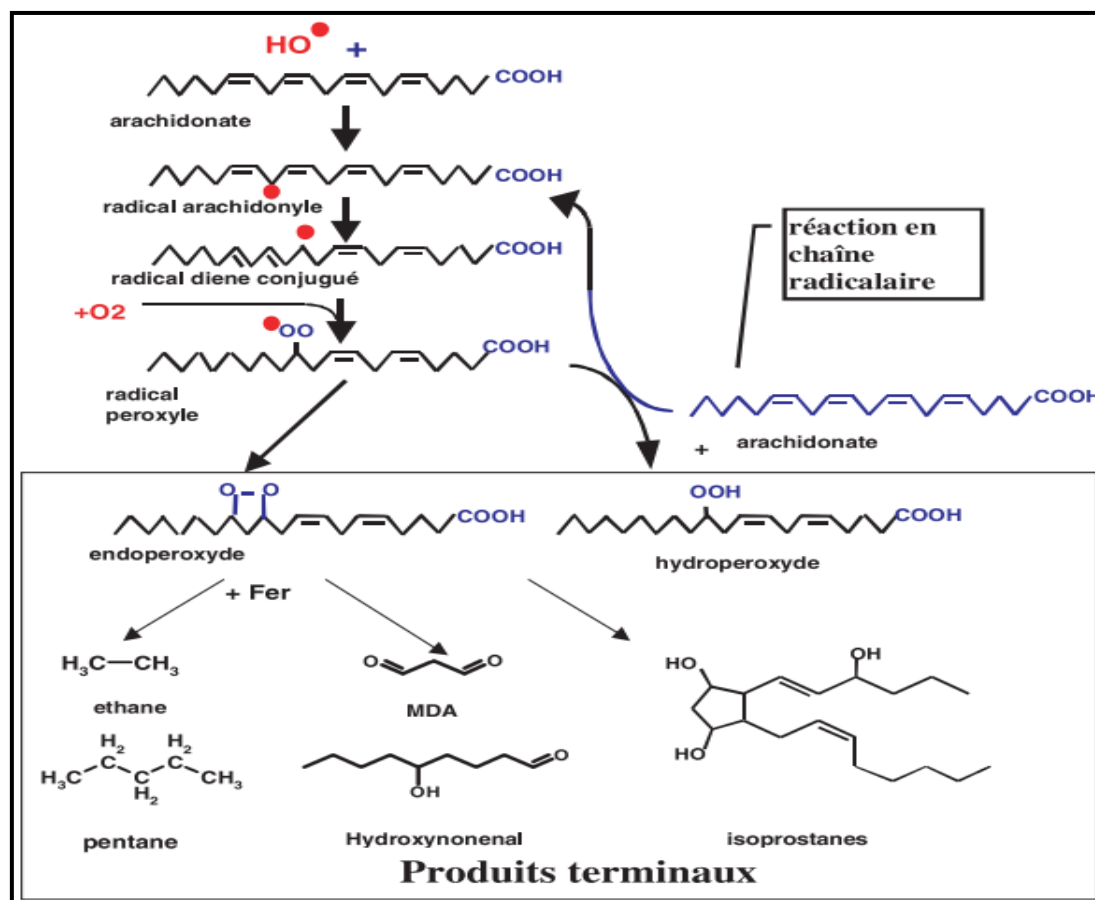


Figure 12 : Mécanisme en chaîne de la peroxydation des acides gras polyinsaturés et la nature des produits terminaux formés (**Favier, 2003**).

II.5.1.3. Oxydation des protéines

Il est bien connu que les ERO peuvent cibler presque tous les composés cellulaires y compris les protéines. Les protéines les plus sensibles aux attaques radicalaires sont surtout celles qui comportent les résidus cystéine et méthionine (**Birben et al., 2012**). La plupart des dommages protéiques sont irréparables (**Figure 13**) et peuvent entraîner des modifications fonctionnelles importantes. Les protéines oxydées perdent leurs propriétés biologiques (enzyme, récepteur...) et deviennent beaucoup plus sensibles à l'action des protéases et notamment du protéasome (**Zuo et al., 2015**). Elles deviennent aussi très hydrophobes, soit par suppression de groupements amines ionisables, soit par extériorisation de zones hydrophobes centrales. Elles vont alors former des amas anormaux dans ou autour des cellules. Ces amas associés aux lipides, formant les dépôts de lipofuscines ; caractéristiques des tissus des sujets âgés (**Kohen et Nyska, 2002**).

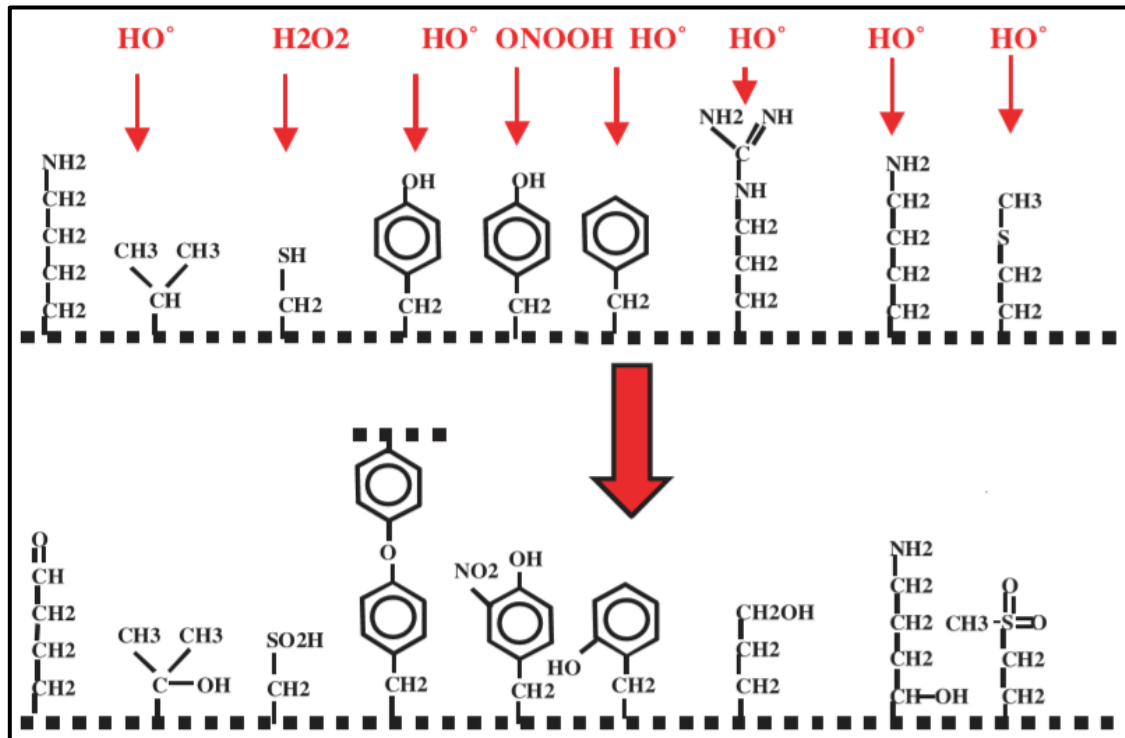


Figure 13 : Nature de quelques modifications des chaînes latérales d'acides aminés des protéines après une attaque radicalaire (Favier, 2003).

II.5.2. Action du stress oxydatif sur les maladies dégénératives

II.5.2.1. Stress et maladies cardiovasculaires

Les maladies cardiovasculaires sont des entités cliniques avec une étiologie multifactorielle (Birben *et al.*, 2012). Au cours des dernières années, les données de recherche ont montré que le stress oxydatif est considéré comme une cause primaire ou secondaire de nombreuses maladies cardiovasculaires, dans lequel il agit principalement comme un déclencheur de l'athérosclérose (Liguori *et al.*, 2018).

La formation de la plaque d'athérome résulte d'une inflammation endothéliale précoce qui conduit à la génération des dérivés réactifs de l'oxygène par des macrophages recrutés in situ. Les LDL en circulation sont ensuite oxydés par les ERO entraînant la formation des cellules spumeuses et des stries graisseuses puis la formation d'une plaque athéromateuse (Galle *et al.*, 2006). Des études *in vivo* et *ex vivo* ont fourni également des preuves soutenant le rôle du stress oxydatif dans d'autres maladie du cœur comme l'ischémie, l'hypertension artérielle, la cardiomyopathie et l'hypertrophie cardiaque (Rodrigo *et al.*, 2011).

II.5.2.2. Stress et cancer

Le cancer est un processus complexe qui consiste aux altérations cellulaires et moléculaires médiées par des déclencheurs endogènes et / ou exogènes (Valko *et al.*, 2004). Il est bien connu que le stress oxydatif peut activer les étapes de la cancérogenèse en raison de l'interaction entre les composants de l'ADN et les espèces réactives de l'oxygène (Klaunig et Kamendulis, 2004).

Les bases d'ADN oxydées par les ERO sont considérées comme l'un des événements les plus pertinents dans la cancérogenèse (Birben *et al.*, 2012). Ce type d'adduits altère la croissance cellulaire normale, en perturbant le profil transcriptomique physiologique et en provoquant des mutations génétiques non seulement des gènes qui contrôlent le cycle cellulaire mais aussi des gènes suppresseurs de tumeurs et des oncogènes (Calcinotto *et al.*, 2019). Le stress peut activer certains facteurs de transcription qui provoquent une croissance cellulaire anormale comme le facteur nucléaire κ B (NF- κ B) (Reuter *et al.*, 2010), et il peut également augmenter l'expression des facteurs transcriptionnels comme le c-fos et le c-jun impliqués dans la transformation néoplasique et l'amélioration de l'angiogénèse cancéreuse (Pizzino *et al.*, 2017).

II.5.2.3. Stress et maladies neurodégénératives

Plusieurs recherches ont montré que le cerveau humain est sensible aux dommages oxydatifs (Zana *et al.*, 2007) en raison de sa composition biochimique neuronale riche en lipides insaturés, labiles à la peroxydation et à la modification oxydative, en plus de son activité antioxydante qui est inférieure à celle des autres tissus (10% moins que le foie) (Mao *et al.*, 2017).

Les ERO sont des facteurs pathogènes de nombreuses maladies neurodégénératives telles que : la maladie de Parkinson, la maladie d'Alzheimer et la sclérose en plaques (Emerit *et al.*, 2004). Dans la maladie d'Alzheimer, l'oxydation des protéines par les ERO est impliquée dans la formation des plaques amyloïdes en favorisant l'agrégation de la protéine β -amyloïde (Liguori *et al.*, 2018). La protéine (β -amyloïde) accumulée provoque l'oxydation des chaînes latérales glucidiques non saturées des lipides membranaires, ce qui conduit à une désintégration de la membrane neurale, à des modifications de sa fluidité et à l'inactivation des récepteurs ou des enzymes membranaires. Le résultat de ce processus est la lyse cellulaire dans le cortex frontal du cerveau (Völkel *et al.*, 2006).

II.6. Biomarqueurs du stress oxydatif

Les dérivés réactifs de l'oxygène peuvent être mesurés directement par spectrométrie de résonance paramagnétique électronique (RPE) (Finaud *et al.*, 2006) ou indirectement en mesurant les conséquences de l'action de ces dérivés sur diverses cibles moléculaires. Le **tableau III** résume les principaux marqueurs utilisés comme témoins de l'oxydation de différentes cibles moléculaires. Ces marqueurs sont largement utilisés et sont globalement fiables (Favier, 2003).

Tableau III : Les produits couramment dosés afin de mettre en évidence un état d'oxydation d'une cible moléculaire donnée (Yzydorczyk *et al.*, 2015).

Cible	Produit	Exemple
Protéines	Protéines oxydées	groupes carbonyle, tyrosine hydroxylée, nitrotyrosines
ADN	ADN oxydé	8-hydroxy-2'-deoxyguanosine
Lipides	Lipides oxydés	MDA, éthane, 4-hydroxynonanal, isoprostanes

La dernière manière d'appréhender le stress oxydant est de mesurer les défenses antioxydantes en mesurant soit une activité enzymatique (superoxyde dismutase, catalase, glutathion peroxydase) (Liguori *et al.*, 2018), soit leurs cofacteurs (zinc, sélénium, cuivre, manganèse), soit les divers piègeurs de radicaux libres (vit C, vit E, CoQ, caroténoïdes...) (Favier, 2003).

II.7. Système de défense contre les ERO

Pour se protéger des effets délétères des ERO, l'organisme se dispose à un ensemble complexe de défenses antioxydantes qui peuvent être divisées en deux sources : l'une est exogène, apportée par l'alimentation sous forme de fruits et légumes riches en vitamines C, E, caroténoïdes, flavonoïdes et glutathion (Haleng *et al.*, 2007), l'autre est endogène et se compose d'enzymes (superoxyde dismutase, glutathion peroxydase, catalase), et de protéines (ferritine, transferrine, albumine). A cela s'ajoutent quelques oligoéléments comme le sélénium, le cuivre et le zinc qui sont des cofacteurs d'enzymes antioxydants (Birben *et al.*, 2012).

II.7.1. Systèmes antioxydants enzymatiques

II.7.1.1. Superoxyde dismutase (SOD)

Ce métalloprotéine représente une des premières lignes de défense contre le stress oxydant il assure l'élimination de l'anion superoxyde $O_2^{\cdot-}$ par une réaction de dismutation, en le transformant en peroxyde d'hydrogène qui est ensuite catabolisé par la catalase et les peroxydases en dioxygène (O_2) et en eau (H_2O) (**Figure 14**) (**Menvielle - Bourg, 2005**).

Chez l'homme, on décrit 3 isoenzymes : la Cu/Zn-SOD1 (cytosolique), la Mn-SOD2 (mitochondriale) et la Cu/Zn-SOD3 (matrice extracellulaire) qui se différencient par la localisation chromosomique de leurs gènes, leur contenu métallique, leur structure quaternaire et leur localisation cellulaire (**Ighodaro et Akinloye, 2017**). La SOD3 est sécrétée par les cellules musculaires lisses et constitue le système antioxydant majeur de la paroi artérielle, son expression et sa sécrétion sont augmentées par les facteurs vasoactifs (histamine, endothéline 1, angiotensine II) et diminuées par l'homocystéine (**Haleng et al., 2007**).

II.7.1.2. Catalase

La catalase est une enzyme hémique capable de transformer le peroxyde d'hydrogène en eau et en oxygène (**Figure 14**). Elle se caractérise par une structure tétramérique dépendante du fer, chaque sous-unité comporte un atome de fer à l'état Fe^{3+} et une molécule de NADPH (**Birben et al., 2012**). La catalase est présente dans les peroxysomes, les mitochondries et les érythrocytes (**Deaton et Marlin, 2003**). La réaction catalysée par cette enzyme est une dismutation du peroxyde d'hydrogène (**Birben et al., 2012**) :



II.7.1.3. Glutathion peroxydase (GPx)

La glutathion peroxydase est une sélénoprotéine (cinq isoformes) synthétisée principalement par le foie et le rein. Elle permet la réduction des peroxydes d'hydrogènes (**Figure 14**) en utilisant le glutathion réduit (GSH) :



Le rôle principal de la GPx consiste à l'élimination des peroxydes lipidiques résultant de l'action du stress oxydant sur les acides gras polyinsaturés (**Birben et al., 2012**).

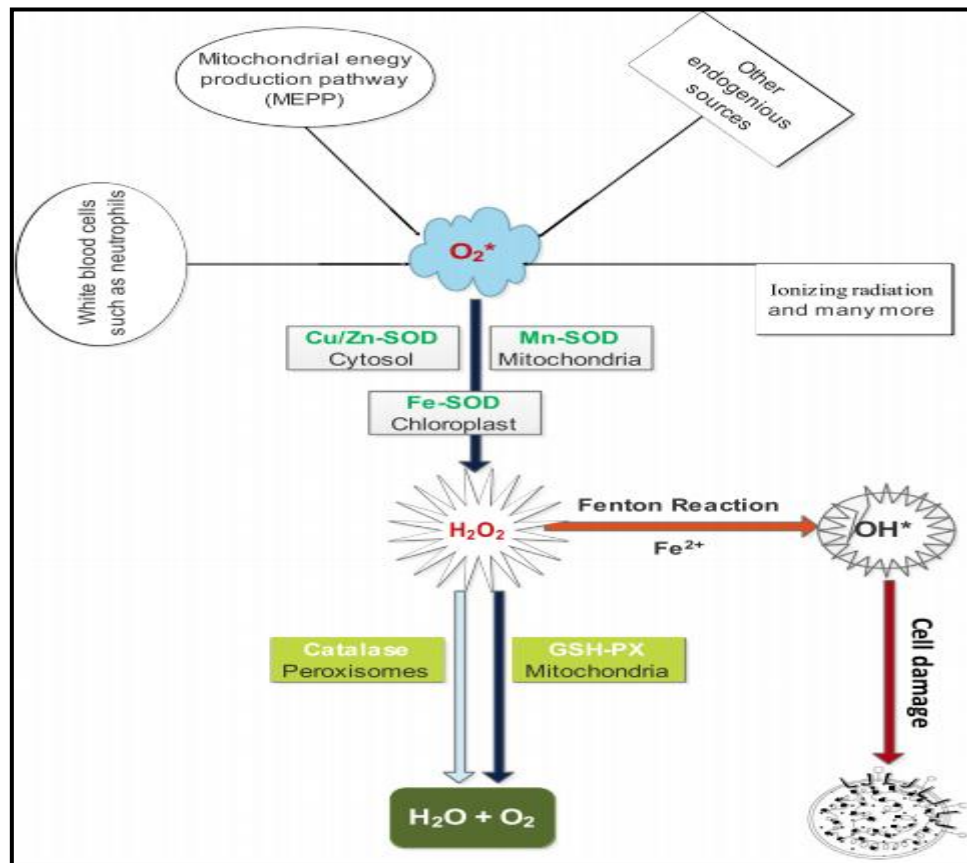


Figure 14 : Le rôle fondamental de la SOD, la Catalase et du GPx dans l'ensemble de la grille de défense antioxydante (Ighodaro et Akinloye, 2017).

II.7.2. Systèmes antioxydants non enzymatiques

II.7.2.1. Vitamines

La vitamine C (l'acide ascorbique) est une molécule hydrosoluble, antioxydante connu par sa capacité d'éliminer certains dérivés réactifs de l'oxygène comme : le radical hydroxyle et l'anion superoxyde (**Figure 15**) (Fabre *et al.*, 2015). Cette molécule est très importante pour l'organisme et joue un rôle crucial dans de nombreux processus cellulaires : la contribution au bon fonctionnement du système immunitaire, l'implication dans la synthèse du collagène et des globules rouges ainsi que la métabolisation du fer (Haleng *et al.*, 2007).

La vitamine E est concentrée dans le site hydrophobe de la membrane cellulaire, et constitue la principale défense contre les lésions membranaires induites par les oxydants (Fabre *et al.*, 2015). La vitamine E réagit avec les radicaux peroxydes (ROO^{\bullet}) pour former un radical tocophéryle empêchant ainsi la propagation de la peroxydation lipidique (Pryor, 2000). L' α -tocophérol est la forme la plus active de la vitamine E et le principal antioxydant lié aux membranes des cellules. La vitamine E déclenche l'apoptose des cellules cancéreuses et inhibe la formation des radicaux libres (anion superoxyde) (**Figure 15**) (Traber et Atkinson, 2007).

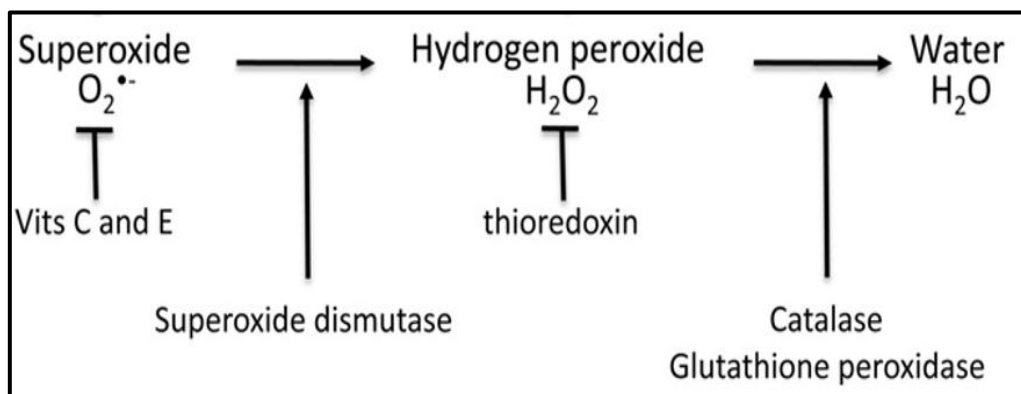


Figure 15 : Le rôle antioxydant des vitamines C et E (Burton et Jauniaux, 2011).

II.7.2.2. Glutathion (GSH)

Le glutathion réduit est un antioxydant très abondant dans tous les compartiments cellulaires. Le rapport GSH / GSSG est le déterminant majeur du stress oxydatif. Le GSH montre ses effets antioxydants de différentes manières (Masella *et al.*, 2005) ; il peut agir comme un cofacteur pour la glutathion peroxydase (Birben *et al.*, 2012). Il présente un rôle dans la reconversion des vitamines C et E en leurs formes actives, ainsi qu'il peut protéger les cellules contre l'apoptose en interagissant avec les voies de signalisation proapoptotiques et antiapoptotiques. Le GSH régule et active plusieurs facteurs de transcription tels que AP-1 et NF- κ B (Masella *et al.*, 2005).

II.7.2.3. Oligoéléments

A. Sélénium (Se)

Le sélénium joue un rôle clé dans la protection des cellules et de leurs constituants contre l'attaque radicalaire. Cette fonction est due à sa présence dans le site actif des glutathions peroxydases séléno-dépendantes et à l'activité biologique antiradicalaire des séléno-protéines (Burk, 2002). Dans l'alimentation, le sélénium organique est retrouvé essentiellement lié à un acide aminé la cystéine. Il subit une métabolisation hépatique conduit à des intermédiaires nécessaires à la synthèse de dérivés physiologiquement actifs comme la GPx (Haleng *et al.*, 2007).

B. Cuivre (Cu)

A concentration physiologique, le cuivre est le cofacteur essentiel de la SOD étant donné sa facilité à passer de l'état réduit à l'état oxydé (Jomova et Valko, 2011). Cependant, en tant que métal de transition, lorsque sa concentration devient plus élevée, il peut devenir un pro-oxydant et joue un rôle important dans le déclenchement des réactions de production d'ERO (réactions de Fenton) (Haleng *et al.*, 2007).

II.7.2.4. Polyphénols

Les polyphénols sont une importante famille d'antioxydants présents dans les végétaux, et qui sont considérés comme des excellents piègeurs des ERO et de très bons chélateurs de métaux de transition comme le fer et le cuivre (**Pizzino *et al.*, 2017**). Il est bien établie, que la consommation des polyphénols diminue la peroxydation des lipides et entraîne une baisse significative des taux de bases d'ADN oxydées (**Bhattacharyya *et al.*, 2014**).

L'alimentation fournit environ 1g de composés phénoliques par jour, principalement par l'apport de fruits, de légumes et de céréales (**Bhattacharyya *et al.*, 2014**). Les polyphénols sont présents sous forme d'anthocyanine dans les fruits rouges et le vin rouge, sous forme de flavonoïdes dans les agrumes et sous forme d'épicatéchine dans le vin, le thé, le chocolat, les pommes, les oignons et les algues brunes (**Haleng *et al.*, 2007**).

Chapitre III :
Le palmier dattier et la
datte

III.1. Le palmier dattier

Le palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) est une angiosperme monocotylédone arborescente à croissance apicale de 15 à 30 m de hauteur, portant une couronne de feuilles finement divisées (les palmes), de 4 à 7 mètres de longueur (**Jassim et Naji, 2010**). *Phoenix dactylifera* est la seule espèce de *Phoenix* cultivée pour ses fruits comestibles (**Louaileche et al., 2015**). Elle est largement connue par son adaptation aux conditions climatiques trop sévères des régions chaudes et sèches, grâce à un système racinaire bien établie qui peut puiser l'eau le plus profond du sol (**Dayang et al., 2014**).

Le palmier dattier représente une pierre angulaire de l'économie dans de nombreux pays producteurs, en particulier au Moyen-Orient et en Afrique du Nord. Plus de 100 millions d'arbres sont actuellement cultivés dans le monde sur une superficie estimée à 1 million d'hectares. La production mondiale annuelle de dattes atteint 6 à 8 millions de tonnes par an (**Dayang et al., 2014**). Le palmier dattier commence à produire les fruits à un âge moyen de cinq ans et continue la production avec un taux de 400-600 kg/arbre/an pour plus de 60 ans (**Ahmed et al., 1995**).

III.1.1. Classification botanique du palmier dattier

Le palmier dattier a été nommé "*Phoenix dactylifera*" par LINNÉ en 1734. Phoenix dérive de Phoinix, nom du dattier chez les Grecs de l'antiquité qui le considéraient comme l'arbre des Phéniciens, dactylifera vient du latin dactylus dérivant du grec daktulos, signifiant doigt, en raison de la forme du fruit (**Peyron, 2000**).

Selon **Munier (1973)** la classification botanique du palmier dattier est comme suit :

Embranchement	Phanérogames
Sous-embranchement	Angiospermes
Classe	Monocotylédones
Ordre	Palmales
Famille	<i>Palmacées</i>
Sous famille	Coryphoidées
Genre	Phoenix
Espèce	<i>Phoenix dactylifera</i> L.

III.1.2. Distribution géographique du palmier dattier

III.1.2.1. Dans le monde

Phoenix dactylifera est une espèce largement répartie dans le monde et présente dans diverses zones géographiques. La grande majorité des arbres se trouvent au Moyen-Orient et en Afrique du Nord. L'exigence commune à toutes les zones de culture du palmier dattier est la température élevée (35°C) nécessaire pour un développement optimal du pollen et la faible humidité relative pour la nouaison et la maturation des fruits. Le palmier dattier pousse dans des régions presque sans pluie qui sont représentées par le Sahara et la frange sud du Proche-Orient (**Dayang et al., 2014**).

La distribution spatiale du *Phoenix dactylifera* dans le monde montre que l'Asie occupe la première place avec 60 millions du palmier dattier répartis dans : l'Arabie saoudite, Bahreïn, Émirats, Iran, Iraq, Koweït, Oman, Pakistan et Yémen (**Gourchala, 2015**). Tandis que, l'Afrique est en deuxième position avec 32,5 millions du palmier répartis dans : l'Algérie, Egypte, Libye, Mali, Maroc, Mauritanie, Niger, Somalie, Soudan, Tchad et Tunisie. Le palmier dattier est également cultivé à plus faible échelle au Mexique, en Argentine et en Etats unis (**Figure 16**) (**FAO, 2013**).

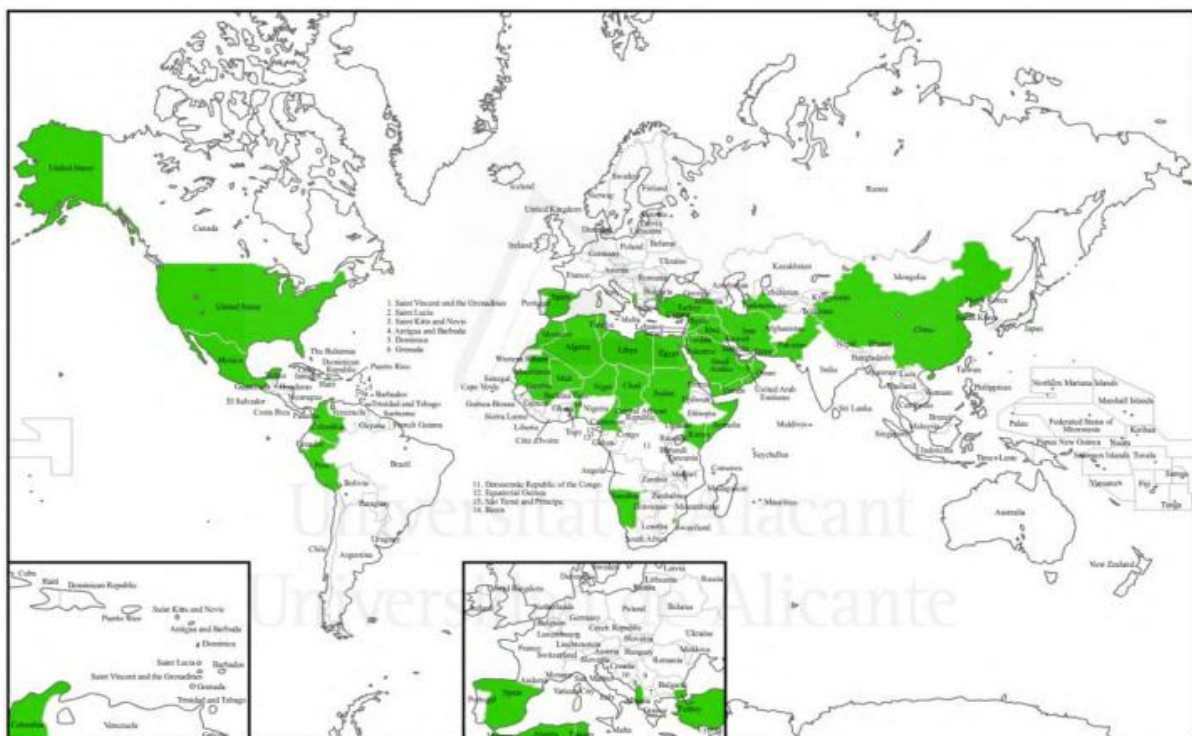


Figure 16 : Distribution du palmier dattier dans le monde (**Sakin Abdrabo, 2013**).

III.1.2.2. En Algérie

L'Algérie est l'un des principaux producteurs de dattes. Elle a occupé la quatrième position mondiale dans la production de ce fruit en 2012 (**Louaileche et al., 2015**), avec une production annuelle moyenne estimée par 789357 tonnes pour plus de 12 millions de palmiers dattiers couvrant environ 160000 hectares (**FAO, 2013**). Mais d'un point de vue qualitatif, elle occupe le premier rang dans la production de la variété Deglet nour, qui est la plus appréciée par les consommateurs aussi bien sur le marché national qu'international (**Zeroual et al., 2020**).

Les palmiers dattier sont essentiellement concentrés dans le sud-est Algérien, leur importance diminue en allant vers l'ouest et/ou le sud. Selon **Messar (1996)**, la palmeraie algérienne est répartie dans : le Sud-est ; El Oued, Ouargla et Biskra avec 67% de palmeraie, le Sud-ouest ; Adrar et Bechar avec 21% de palmeraie et pour l'extrême sud Algérien : Ghardaïa, Tamanrasset, Illizi et Tindouf, 10% de palmeraie ont été trouvés.

III.2. La datte

La datte est le fruit du palmier dattier, c'est une baie produite dans de nombreuses régions arides du monde (**Ali et al., 2018**). Elle est considérée comme une composante importante du régime alimentaire de la majorité des pays arabes (**Dayang et al., 2014**). Ce fruit est généralement de forme allongée, oblongue ou arrondie avec des dimensions très variables (**Tableau IV**). Sa couleur va du blanc jaunâtre au noir, passant par les couleurs ambre, rouge, brunes, plus ou moins foncée (**Espiard, 2002**).

Tableau IV : La variation du poids et des dimensions du fruit de dattes (**Allaith, 2019**).

Dattes	
Poids	4 – 36 g
Longueur	2 – 7,5 cm
Diamètre	1,3 – 4 cm
Volume	5 – 19 cm ³

Les dattes sont constituées de deux parties ; une partie non comestible dite « noyau » et une partie comestible « pulpe ou chair » (**Allaith, 2019**). La pulpe à son tour contient trois composants essentielles (**Figure 24**): un épicarpe ou enveloppe cellulosique fine dénommée peau, un mésocarpe généralement charnu de consistance variable selon sa teneur en sucre et de couleur soutenue et un endocarpe de teinte plus claire et de texture fibreuse, parfois réduit à une membrane parcheminée entourant le noyau (**Espiard, 2002**).

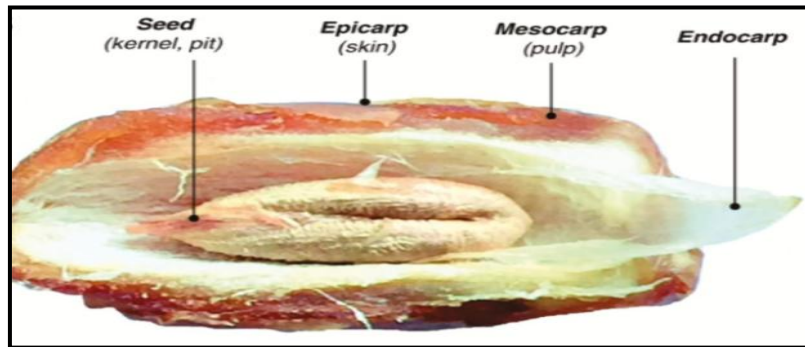


Figure 17 : Les composants essentiels de la datte (Al-Shwyeh, 2019).

III.2.1. Stades de maturation des dattes

Les fruits de datte au cours de leur développement et maturation passent par plusieurs stades, connus dans le monde entier par leurs dénominations arabes: Hababouk, Kimri, Khalal, Rutab et Tamr (Nasir *et al.*, 2015).

III.2.1.1. Hababouk

Ce stade commence juste après la fécondation et dure environ cinq semaines. A ce stade, le fruit se caractérise par une croissance lente (Eltayeb *et al.*, 1999), une couleur verte jaunâtre et une forme sphérique (Figure 18) (Djerbi, 1994).

III.2.1.2. kimri

Au stade kimri, les dattes présentent une couleur verte (Figure 18) avec une forte teneur en eau (85%) et se caractérisent par une augmentation rapide de leur poids, taille et de leur concentration en sucre. Ce stade dure de neuf à quatorze semaines (Nasir *et al.*, 2015).

III.2.1.3. Khalal

A ce stade, la couleur du fruit de datte passe du vert au jaune clair (Figure 18), puis vire au jaune, au rose ou au rouge selon les variétés. La datte se caractérise par une diminution de la vitesse de l'accroissement de son poids, de sa taille et de sa teneur en eau, bien qu'elle présente une augmentation rapide de sa concentration en sucres. Ce stade dure de trois à cinq semaines (Al-Farsi et Lee, 2008).

III.2.1.4. Routab

Au stade Routab, la couleur jaune des dattes devienne plus foncé (Figure 18). Cette phase se caractérise par : la perte de la turgescence du fruit suite à la diminution de sa teneur en eau, l'insolubilisation des tanins qui se fixent sur l'épicarpe du fruit et l'augmentation de la teneur en monosaccharides qui donne un goût sucré au fruit. Elle peut durer de deux à quatre semaines (Nasir *et al.*, 2015).

III.2.1.5. Tamr

C'est le stade final de la maturation du fruit au cours duquel ce dernier perd une quantité importante d'eau (**Figure 18**) (**El-Sharnouby et al., 2009**).

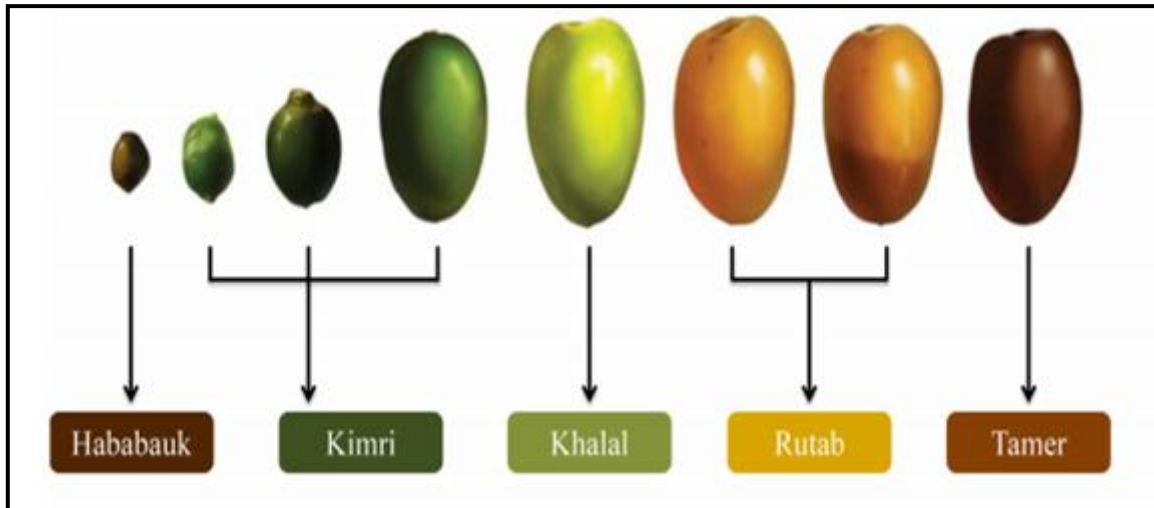


Figure 18 : Stades de maturation du fruit du palmier dattier (**Al-Mssallem et al., 2013**).

III.2.2. Classification des dattes

Les dattes sont classées en fonction de leur teneur en invertase ou de leur composition en sucre (**Nasir et al., 2015**). L'invertase conduit à la classification des dattes en :

- Dattes riches en invertase (environ 77%) appelées dattes molles.
- Dattes avec une faible quantité d'invertase appelées dattes semi-sèches / demi-molles.
- Dattes sans invertase classées comme dattes sèches (**Kacem-Chaouche et al., 2013**).

Sur la base de leur teneur en sucre, les dattes sont classées en quatre classes :

- La première classe de dattes est riche en saccharose (40-65%), ceux-ci contiennent 20 à 40% de glucose et de fructose et 10 à 25% d'eau.
- Les dattes présentes dans la deuxième classe sont riches en glucose et en fructose (40-75%) et contiennent relativement moins de saccharose (10-35%).
- Les dattes en troisième classe sont composées de 10 à 35% d'eau, de 65 à 90% de glucose et de fructose et de 0 à 10% de saccharose.
- Les dattes de la quatrième classe ont une teneur élevée en eau (35-65%). Ceux-ci contiennent 35 à 37% de glucose et de fructose et 0% de saccharose (**Nasir et al., 2015**).

III.2.3. Variétés des dattes

Près de 5000 cultivars de palmier dattier (*Phoenix dactylifera L.*) sont connus dans le monde, mais seuls certains sont étudiés et évalués en raison de la qualité et de la performance de leurs fruits (**Tableau V**) (*Al-Hooti et al., 2002*).

Tableau V : Les variétés de dattes les plus courantes dans le monde arabe.

Pays producteurs de dattes					
	Algérie	Tunisie	Maroc	Iraq	Arabie saoudite
Variétés Communes de dattes	Arechti Degla Beida Deglet Nour Deglet Ziane Ghazi Halwa Mech Degla Sebt Mira	Allig Ammari Bejou Beyd Hamem Deglet Nour Horra Kenta Kentichi	Boufgous Bouskri Bousrdon Bousthammi Bouzgagh Jihl Majhoul Najda	Ashursi Hamrawi Khadrawi Khistawi Maktoom Shukari Sultani Zahdi	Ajwa Al Madina Khodry Mabroom Nabot Saif Nabtit Ali Rashodia Saffawy Sokary
Références	Benmeddour et al., 2013	Souli et al., 2018	Bouhlali et al., 2017	Matloob et Balakit, 2016	Hamad et al., 2015

III.2.4. Compositions biochimiques des dattes

III.2.4.1. Composition de la partie comestible « pulpe »

A. Sucres

Les sucres sont les constituants majeurs de la datte. Les principaux sucres détectés dans les dattes fraîches et séchées sont le glucose, le fructose et le saccharose (*Al-Farsi et al., 2005*). La différence du niveau de sucre entre les dattes séchées et fraîches (**Tableau VI**) peut être due au niveau de la maturité et la réduction de l'humidité des dattes (*Nasir et al., 2015*). Les sucres réducteurs (glucose et fructose) sont les constituants les plus importants des dattes par rapport au saccharose ; car ils sont une source d'énergie condensée qui peut entraîner une élévation rapide du taux de sucre dans le sang en raison de leur absorption rapide après la digestion (*Liu et al., 2000*).

Tableau VI : La différence de la teneur en sucre entre les dattes fraîches et séchées (**Nasir et al., 2015**).

Teneur en sucre (g/100)			
Dattes	Saccharose	Fructose	Glucose
Dattes fraîches	4,03 g	19,4 g	22,8 g
Dattes séchées	11,6 g	29,4 g	30,4 g

B. Protéines

La pulpe de datte ne renferme qu'une faible quantité de protéines qui diminue à mesure que le fruit mûrit ; elles sont de 5,5 à 6,4% au stade kimri et diminuent progressivement jusqu'à 2,0 à 2,5% au stade Tamr. Bien que les dattes ne soient pas une riche source de protéines, elles sont considérées comme une source nutritionnelle importante (**Gnanamangai et al., 2019**) qui contiennent des acides aminés essentiels comme : l'isoleucine, leucine, phénylalanine, méthionine, valine, tryptophane...etc (**Al-Farsi et Lee, 2008**). La teneur en protéines des dattes fraîches et séchées est de 1,50 et 2,14 g / 100 g respectivement. L'augmentation de la teneur en acides aminés des dattes séchées due à la réduction de l'eau des dattes (**Al -Shahib et Marshall, 2003**).

C. Lipides

La teneur en matières grasses des dattes était très faible et différait considérablement selon les cultivars (**Al-Farsi et Lee 2008**). Le rôle principal des matières grasses dans les dattes est d'empêcher la contamination et l'humidité (**Shafiei et al., 2010**). Les principaux acides gras que nous pouvons trouver dans les dattes sont les acides gras saturés : l'acide laurique, myristique, palmitique, stéarique, margarique, arachidique et les acides gras insaturés qui comprennent les acides palmitoléique, oléique, linoléique et linoléique (**Gnanamangai et al., 2019**).

D. Minéraux

Les dattes sont une source riche en minéraux essentiels comme le potassium, le magnésium, le cuivre et le sélénium. L'apport de 100g de dattes fournit environ 15% de l'apport journalier recommandé de ces minéraux. Le fer, le calcium, le phosphore et le manganèse sont présents dans les dattes à des concentrations modérées et l'apport de 100 g de dattes peut fournir environ 7% de l'apport quotidien recommandé de ces minéraux (**Nasir et al., 2015**). En moyenne, le fruit de datte contient du K (713 mg / 100 g), du Mg (64,2 mg / 100 g), du Cu (0,24 mg / 100 g) et du Se (0,31 mg / 100 g) (**Ismail et al., 2006**).

E. Vitamines

Les dattes contribuent comme une source modérée de vitamines. Les vitamines de dattes les plus courantes sont le β -carotène (vitamine A), la thiamine (B1), la riboflavine (B2), la niacine (B3), l'acide ascorbique (C) et l'acide folique (B9) (**Baliga et al., 2011**). Certaines de ces vitamines fournissent 10 à 50% de l'apport quotidien recommandé d'un adulte (**Dayang et al., 2014**).

F. Fibres

Les dattes sont une bonne source de fibres alimentaires ; car 100 g de dattes peuvent fournir environ 32% des apports journalier recommandé de fibres pour l'homme (**Nasir et al., 2015**). Plusieurs études ont révélé que les principales fibres alimentaires des dattes sont des fibres insolubles (la datte contient 0,84 g / 100 g de fibres solubles, et 5,76 g / 100 g de fibres alimentaires insolubles) (**Al-Farsi et al., 2005**). Il y a eu une augmentation des fibres alimentaires de 7,5 g / 100 g à 8 g / 100 g lorsque les dattes passent du stade frais au stade séché pendant le processus de maturation. Cette augmentation peut être due à la réduction de la teneur en humidité des dattes matures (**Dayang et al., 2014**).

G. Composés phénoliques

Les polyphénols sont des substances bioactifs qui contribuent à l'élimination des radicaux libres causés par le stress oxydatif (**Al-Harrasi et al., 2014**). La plupart des études ont prouvé que les dattes étaient une source importante des composés phénoliques (**Vayalil, 2002**) tels que : les hydroxycinnamates, les proanthocyanidines et les flavonoïdes. Les principaux hydroxycinnamates trouvés sont les dérivés de l'acides p-coumarique, chlorogénique, férulique et sinapique. Les principaux flavonoïdes trouvés sont la lutéoline, la quercétine et le kaempférol (**Dayang et al., 2014**). Le contenu phénolique des variétés de datte a été signalé comme non stable et pourrait être dû à plusieurs facteurs : les conditions de croissance, les conditions de stockage, le degré de maturité des dates testées...etc (**Allaith, 2008**).

III.2.4.2. Composition de la partie non comestible « noyau »

Le noyau présente 7 à 30 % du poids de la datte. Il est composé d'un albumen blanc et dur protégé par une enveloppe cellulosique. Les travaux de recherche menés sur la composition des noyaux d'une variétés de dattes Tunisienne (Allig) ont démontré la présence de protéines, de glucides, de lipides et de minéraux (**Tableau VII**) (**Besbes et al., 2004**).

Tableau VII : La composition chimique des grains de datte « Allig » (**Besbes et al., 2004**).

Composants		Datte « Allig »
Protéines (%)		5.56
Lipides (%)		10.19
Glucides (%)		83.1
Minéraux (mg/100g)	Potassium	229
	Magnésium	51.7
	Calcium	38.8
	Phosphore	68.3
	Sodium	10.4
	Fer	2.30

III.2.5. Importance des dattes pour la santé

Depuis longtemps, les dattes ont été utilisées comme des agents antibactériens, antifongiques et immunomodulateurs (**Abu-Elteen, 2000**). Dans la plupart des pays musulmans, ce fruit est consommé en quantité élevée pendant le mois de jeûne du Ramadan, cela peut aider à protéger la muqueuse gastrique des effets néfastes de l'acide gastrique et à prévenir le développement d'ulcères gastro-duodénaux (**Dayang et al., 2014**).

De nombreuses études épidémiologiques ont montré que l'apport des dattes dans le régime alimentaire d'une personne favorise une incidence plus faible de plusieurs maladies chroniques liées aux stress oxydatif (**Dayang et al., 2014**), telles que le cancer, les maladies neurologiques et les troubles cardiovasculaires en raison de leur teneur élevée en antioxydants naturels (polyphénols, caroténoïdes, tocophérols, Glutathion...) (**Nasir et al., 2015**).

L'activité antioxydante majeure des dattes résulte aux effets biologiques des composés phénoliques qui peuvent intervenir à la prévention des lipides, des acides nucléiques et des protéines contre les dommages oxydatifs en agissant comme un piègeur de radicaux libres (**Dröge, 2002**).

Chapitre IV :
Etudes antérieures

Il est connu que les aliments d'origine végétale possèdent des métabolites dits «secondaires» par opposition aux métabolites primaires qui sont les protéines, les glucides et les lipides. Ces métabolites secondaires sont classés en plusieurs grands groupes: parmi ceux-ci, les polyphénols. Ce groupe renferme une très grande diversité de composés qui possèdent une très large gamme d'activités biologiques. Un certain nombre d'études se sont concentrées sur l'extraction des polyphénols de la variété Deglet Nour, et la valorisation de ces composés en évaluant différentes activités biologiques notamment l'activité antioxydante.

L'extraction des polyphénols de dattes (DN) est une étape très importante dans l'isolement ainsi que dans l'identification des composés phénoliques (**Bohui et al., 2018**). Elle peut être influencée par leur nature chimique, la méthode d'extraction utilisée, la taille des particules d'échantillon, les conditions de stockage (**Naczka et Shahidi, 2004**) et la nature des solvants utilisés (**Kchaou et al., 2013**).

La teneur totale en polyphénols (TTP) des extraits du Deglet Nour est estimée généralement par la méthode de Folin-Ciocalteu (**Rachedi et al., 2018**). *Kchaou et al.* (2013), *Souli et al.* (2018), *Louaileche et al.* (2015) ont appliqué cette méthode spectrophotométrique pour déterminer la teneur totale des polyphénols dans les différents extraits de dattes. Le réactif de Folin-Ciocalteu est un acide de couleur jaune constitué par un mélange d'acide phosphotungstique et d'acide phosphomolybdique qui est réduit lors de l'oxydation des substances phénoliques en mélange d'oxydes bleus de tungstène et de molybdène. La coloration produite est proportionnelle à la quantité de polyphénols présents dans les extraits végétaux (**Singleton et al., 1999**). La concentration des polyphénols totaux est calculée à partir de l'équation de régression de la courbe d'étalonnage d'acide gallique à différentes concentrations (**Benmeddour et al., 2013**) (**Zineb et al., 2012**), et exprimée en milligramme (ou microgramme) équivalent d'acide gallique par gramme (ou milligramme) de poids frais ou de poids sec des dattes.

En Algérie, *Benmeddour et al.* (2013) ont constaté que la TTP d'extrait issu du Deglet Nour algérienne est environ 225.57 mg équivalent d'acide gallique par 100 g de poids sec (EAG/100 g PS). Ce résultat est inférieur à celui mentionné par *Kchaou et al.* (2013), qui ont trouvé que la TTP d'extrait du Deglet Nour tunisienne est 315.16 mg EAG/100 g de poids frais (PF) (**Tableau VIII**). Bien que, les deux études ont utilisé le même solvant d'extraction (acétone/eau), la différence marquée s'explique par la variation du volume de l'acétone utilisé (*Benmeddour et al.* (2013) ont utilisé 60% de l'acétone tandis que *Kchaou et al.* (2014) ont travaillé par un pourcentage plus élevé ; 70%), la variation des origines géographiques, les conditions de croissance, les conditions de

stockage, le degrés de maturité des dattes testées, la saison, les engrais, le type de sol, la quantité de la lumière solaire reçue et l'état frais et/ou sec des dattes utilisés (Allaith, 2008).

Tableau VIII : Le contenu phénolique du DN algérienne et tunisienne.

	DN algérienne		DN tunisienne	
	Teneur	Etude	Teneur	Etude
TTP	225,57 mg (EAG/100g PS)	Benmeddour et al. (2013)	315.16 mg (EAG/100g PF)	Kchaou et al. (2013)
TTF	60.01 mg (EQ / 100g PF)	Louaileche et al. (2015)	58.048 mg (EC/100g PF)	Souli et al. (2018)
Contenu en tanins condensés	184.34 mg (E de cyanidine /100g PS)	Benmeddour et al. (2013)	142.67 mg (EC/ 100 g PF)	kchaou et al. (2014)

Le taux des polyphénols du Deglet Nour algérienne en comparaison avec les autres aliments les plus consommés en Algérie a été rapporté par Djenidi *et al.* (2020), dont ils ont montré que cette variété de datte présente une teneur phénolique totale estimé par 84.15 μg EAG / mg de PF, cette valeur est supérieure à celles trouvées pour les autres fruits et légumes, tels que la pêche (46.86 μg EAG/ mg de PF), l'orange (65.22 μg EAG / mg de PF), banane (41,55 μg EAG / mg de PF), le chou (62,22 μg EAG/ mg de PF), le fenouil (43,77 μg EAG/ mg de PF) et la citrouille (80 μg EAG/ mg de PF) (**Tableau XI**). La même tendance a été observée dans l'étude menée par Fu *et al.* (2011) qui ont trouvé une teneur moins élevée des polyphénols totaux dans les pommes vertes (68.29 mg EAG/100 g), Bananes (57.13 mg EAG/100 g), raisins verts (23.21 mg EAG/100 g), olives (21.68 mg EAG/100 g) et citrons (61.47 mg EAG/100 g) en comparaison au DN (225.57 mg EAG/100 g).

Djenidi et ces collaborateurs (2020) ont également montré que DN a une teneur phénolique élevée (84.15 μg EAG / mg de PF) par rapport aux autres variétés de dattes algériennes tel que Mech-Degla (29.48 μg EAG/ mg de PF) et El Ghars (56.77 μg EAG/ mg de PF) (**Tableau IX**).

Tableau IX : La teneur total en polyphénols du DN en comparaison avec les autres variétés de dattes.

Dattes	TTP	
	Teneur	Etude
DN	84.15 μg (EAG/mg PF)	Djenidi et al. (2020)
Mech Degla	29.48 μg (EAG/ mg PF)	
El Ghars	56.77 μg (EAG/ mg PF)	

Les flavonoïdes est la classe la plus large et la plus connue des composés phénoliques qui attire l'attention des scientifiques. La majorité des recherches entamées sur les extraits de DN ont essayé d'estimer la teneur de ces métabolites en utilisant la méthode du trichlorure d'aluminium. Cette méthode est basée sur la quantification de la couleur jaune produite par l'interaction du chlorure d'aluminium avec les atomes d'oxygène présents sur les carbones 4 et 5 des flavonoïdes (**Lagnika, 2005**), l'absorbance est mesuré par un spectrophotomètre à 410 nm (**Ghiaba et al., 2012**). Le contenu total en flavonoïdes est calculé à partir de la courbe d'étalonnage de différentes solutions selon les études : la rutine (**Ghiaba et al., 2012**), la catéchine (**Louaileche et al., 2015**) ou la quercétine (**Kchaou et al., 2014**).

En Algérie, la teneur totale en flavonoïdes (TTF) du DN algérienne mesurée par Louaileche *et al.* (2015) est de 60.01 mg équivalent de la quercétine par 100 g (EQ/100g) de PF. Cette valeur est supérieure à celle trouvée par Benmeddour et ces collaborateurs (2013) (15.22 mg EQ/100g de PS) (**Tableau VIII**). La différence s'explique par la variation de la région de cultivation du Deglet Nour des deux études (Benmeddour *et al.* : Biskra, Louaileche *et al.* : Ghardaïa), leur degré de maturité, leur état d'utilisation (frais et/ou sec) ainsi que la variation des procédures d'extraction suivies. En Tunisie, Souli *et al.* (2018) ont mentionné dans leur travail sur Deglet Nour tunisienne que sa TTF est environ 58.048 mg équivalent de la catéchine (EC) /100 g de PF.

De plus, selon l'analyse d'HPLC- Diode-Array Detector (DAD) réalisée par Benmeddour *et al.* (2013), trois types de composés de flavonoïdes ont été constaté dans l'extrait du DN : l'isoquercétrine (1.62 mg / 100g de PS), la rutin (1.08 mg / 100g de PF) et la quercétine (1.21 mg / 100g de PF).

En comparaison avec les autres variétés de dattes algériennes, Deglet Nour comprene la teneur la plus élevée en flavonoïdes (60.01 mg EQ/100 g de PF) (**Louaileche et al., 2015**) par rapport à Itima (19.62 mg EQ / 100g de PS) et au Deglet Ziane (33 mg EQ / 100g de PS) (**Benmeddour et al.,2013**) (**Tableau X**).

Tableau X : La teneur totale en flavonoïdes du DN en comparaison avec les autres variétés de dattes.

Dattes	TTF	
	Teneur	Etude
DN	60.01 mg (EQ/100 g PF)	Louaileche et al. (2015)
Itima	19 mg (EQ /100g PS)	Benmeddour et al. (2013)
Deglet Ziane	33 mg (EQ /100g PS)	

Djenidi et ces collaborateurs (2020) ont rapporté que DN Algérienne a une TTF estimée par 0.22 $\mu\text{g EQ/ mg de PF}$. Cette valeur est inférieure à celle de plusieurs aliments tel que la pêche (1.05 $\mu\text{g EQ / mg de PF}$), l'orange (1.14 $\mu\text{g EQ / mg de PF}$), le chou (0.73 $\mu\text{g EQ / mg de PF}$), le fenouil (0.53 $\mu\text{g EQ/ mg de PF}$) et la citrouille (2.90 $\mu\text{g EQ/ mg de PF}$), bien qu'elle est supérieure à la TTF du banane qui représente une très faible source en flavonoïdes (0.04 $\mu\text{g EQ / mg de PF}$) (**Tableau XI**).

Tableau XI : Le contenu phénolique des différents aliments.

Aliments	TTP ($\mu\text{g EAG/ mg PF}$)	TTF ($\mu\text{g EQ/ mg PF}$)	Contenu en tanins condensés ($\mu\text{g EAT/ mg PF}$)	Etude
DN	84.15	0.22	1.86	Djenidi et al. (2020)
Pêche	46.86	1.05	2.27	
Orange	65.22	1.14	7.50	
Banane	41.55	0.04	3.65	
Chou	62.22	0.73	4.48	
Fenouil	43.77	0.53	2.70	
Citrouille	80	2.90	2.98	

Les tanins condensés représentent également une classe des polyphénols qui est largement mesurée par les chercheurs au cours de leurs travaux sur les extraits du DN. Le contenu de ces métabolites est estimé selon la méthode de la vanilline décrite par Hagerman *et al.* (2000). La vanilline peut réagir avec le groupement flavonoïde terminal des tanins condensés « le flavan3-ol » en formant une coloration rouge, dont l'intensité est proportionnelle aux taux de flavanols présents dans le milieu. L'absorbance est mesurée à 500 nm et les concentrations sont calculées à partir de l'équation de régression de la courbe d'étalonnage de la cyanidine.

Le contenu en tanins condensés des extraits du Deglet Nour algérienne trouvé par Benmeddour *et al.* (2013) est 184.34 mg (équivalent de cyanidine /100 g de PS) cette valeur est supérieure à celle constatée par Kchaou *et al.* (2014) de Deglet Nour tunisienne ; 142.67 mg (EC/ 100 g de PF) (**Tableau VIII**).

Par rapport aux autres variétés de dattes Algériennes ; Sebt mira (387.15 mg équivalent de cyanidine /100 g de PS) et Ghazi (525.06 mg équivalent de cyanidine /100 g de PS), DN offre une source faible en tanins condensés (184.34 mg équivalent de cyanidine /100 g de PS) (**Benmeddour**

et al., 2013) (**Tableau XII**). De plus, par rapport aux autres aliments les plus consommés en Algérie, DN présente également la source la plus faible en tanins condensés avec une teneur de 1.86 µg équivalent d'acide tannique (EAT) /mg en comparaison au pêche (2.27 µg EAT/ mg), orange (7.50 µg EAT/ mg), banane (3.65 µg EAT/ mg), chou (4.48 µg EAT/ mg), fenouil (2.70 µg EAT/ mg) et citrouille (2.98 µg EAT/ mg) (**Djenidi et al., 2020) (**Tableau XI**).**

Tableau XII : Le contenu en tanins condensés du DN en comparaison avec les autres variétés de dattes.

Dattes	Contenu en tanins condensés	
	Teneur	Etude
DN	184.34 mg (E de cyanidine /100g PS)	Benmeddour et al. (2013)
Sebt mira	387.15 mg (E de cyanidine /100g PS)	
Ghazi	525.06 mg (E de cyanidine /100g PS)	

D'après ce qui a été dit précédemment, Deglet Nour est une source importante de composés phénoliques principalement connus par leur activité antioxydante nécessaire à la prévention de l'organisme contre les dommages issus du stress oxydatif. Pour cela, la plupart des recherches réalisées sur le contenu phénolique d'extraits du DN ont également évalué son potentiel antioxydant et calculé la corrélation entre le contenu phénolique et la capacité antioxydante (**Zeroual et al., 2020). L'évaluation de l'activité antioxydante peut être effectuée par plusieurs méthodes différentes entre autres : le 1,1-diphényl-2-picrylhydrazil (DPPH), le pouvoir réducteur antioxydant ferrique (FRAP) et le test de blanchiment au β-carotène (**Bouhlali et al., 2017).****

La méthode de piégeage des radicaux DPPH est une procédure spectrophotométrique largement utilisée pour déterminer la capacité antioxydante des substances bioactifs. L'évaluation de l'effet scavenger des extraits envers le radical DPPH• est réalisée selon la méthode décrite par Brand-Williams *et al.* (1995). Cette méthode permet de suivre la cinétique de décoloration du radical DPPH de couleur violette au jaune pâle (grâce à l'acceptation d'un électron ou d'un atome d'hydrogène donné par un antioxydant) par un spectrophotomètre à 517 nm. L'inhibition de l'activité des radicaux libres a été calculée selon l'équation suivante (**Zeroual et al., 2020) :**

$$\text{Activité antiradicalaire (\%)} = [(\text{Abs contrôle} - \text{Abs échantillon}) / \text{Abs contrôle}] \times 100.$$

La CI_{50} , qui est la concentration d'extrait ou de quercétine responsable de 50% de l'inhibition du radical DPPH a été déterminée à partir du graphique du pourcentage d'inhibition par rapport à la concentration d'extrait ou de quercétine (**Djenidi *et al.*, 2020**).

Le test DPPH a été appliqué par Zeroual *et al.* (2020) au cour de leur travail sur les extraits du Deglet Nour algérienne, dont ils ont trouvé qu'elle avait une forte capacité à éliminer les radicaux libres (76.62%). Le même pourcentage a été rapporté par Abbes *et al.* (2013) pour DN tunisienne (76.40%). En comparaison avec les autres variétés de dattes algérienne, DN présente un pourcentage antiradicalaire (76.62%) supérieur à celui d'Itima (52.2%) et de Thouri (32.4%). Tandis qu'il est inférieur au Halwa (79.1%) et au Ghazi (89.0%) (**Tableau XIII**) (**Benmeddour *et al.*, 2013**).

Tableau XIII: Activité antioxydante des dattes mesuré par le test DPPH.

Dattes	DPPH	
	AA	Etude
DN	76.62%	Zeroual et al. (2020)
Itima	52.2%	Benmeddour et al. (2013)
Thouri	32.4%	

Djenidi *et al.* (2020) ont montré que Deglet Nour présente la IC_{50} la plus élevée (3.92 mg/ml) par rapport aux autres fruits et légumes : orange (2.48 mg/ml), pêche (0.98 mg/ml), chou (1.79 mg/ml), fenouil (3.29 mg/ml) et citrouille (1.69 mg/ml). Cependant qu'elle est inférieure de celle de banane, qu'il avait une activité antiradicalaire estimée par 9.20 mg/ml.

En plus du test DPPH, les chercheurs ont également utilisé le test du pouvoir antioxydant réducteur ferrique (FRAP) pour évaluer l'activité antioxydante d'un extrait (**Djenidi *et al.*, 2020**). Ce test est basé sur la capacité de l'échantillon en présence d'antioxydant à réduire le fer ferrique (Fe^{3+}) en fer ferreux (Fe^{2+}) en donnant un électron (**Bouaziz *et al.*, 2015**). La capacité réductrice des différents extraits est évaluée à l'aide de la méthode décrite par Ozsoy *et al.* (2008). La quantité de fer ferreux formé peut être évaluée spectrophotométriquement à 700 nm en suivant la transformation de la couleur jaune de la solution testée en un chromophore bleu-vert. L'augmentation de l'absorbance indique un grand pouvoir réducteur.

La moyenne de l'activité antioxydante basée sur l'analyse FRAP du DN algérienne est estimée par 3.27 mM d'après Ghiaba et ces collaborateurs (2012), cette valeur est supérieure au résultat donné par Kchaou *et al.* (2014) (1.96 mmol/100g) concernant DN tunisienne.

Les résultats obtenus par Ghiaba *et al.* (2012) ont montré également que la variété Deglet Nour avait un niveau presque similaire d'activité antioxydante obtenu par le test FRAP (3.27 mM) par rapport à ceux des autres variétés algériennes tel que Degla Beida (3.42 mM) et Tamjhourt (3.48 mM). Tandis qu'il est inférieur qu'El Ghars (4.21 mM) et supérieur que Tafezauine (2.06 mM).

En comparaison avec les autres aliments Djenidi *et al.* (2020) ont montré que Deglet Nour présente le pouvoir réducteur le plus élevé (108.53 mg/ml) par rapport au banane (52.30 mg/ml), orange (23.64 mg/ml), pêche (14.62 mg/ml), chou (9.07 mg/ml), fenouil (53.28 mg/ml) et citrouille (6.59 mg/ml).

Tableau XIII : Activité antioxydante des différents aliments.

Aliments	DPPH (IC50 mg/ml)	FRAP (mg/ml)	Test de blanchiment au β carotène (%)	Etude
DN	3.92	108.53	15.93	Djenidi et al. (2020)
Pêche	0.98	14.62	80.97	
Orange	2.48	23.64	53.18	
Banane	9.20	52.30	45.15	
Chou	1.79	9.07	66.06	
Fenouil	3.29	53.28	47.72	
Citrouille	1.69	6.59	21.13	

Le troisième test qui est largement utilisé pour l'évaluation de l'activité antioxydante est le test de blanchiment au β -carotène, qui mesure la capacité des antioxydants à retarder la décoloration du β -carotène induite par les hydroperoxydes de diène conjugué résultant de la dégradation oxydative de l'acide linoléique (Bouaziz *et al.*, 2015). Dans ce test, la capacité antioxydante des extraits est déterminée selon la méthode de Kartal *et al.* (2007). La cinétique de décoloration de l'émulsion est suivie par un spectrophotomètre à 490 nm (Djenidi *et al.*, 2020).

Selon les résultats du test de blanchiment au β -carotène obtenus par Souli *et al.* (2018) et Djenidi *et al.* (2020), nous pouvons observer la différence entre le pouvoir antioxydant du Deglet Nour algérienne (15.93 %) (Djenidi *et al.*, 2020) et tunisienne (67.89 %) (Souli *et al.*, 2018). Ainsi nous pouvons remarqué en comparaison avec les autres variétés de dattes que DN algérienne présente la capacité antioxydante la plus faible (15.93 %) par rapport au Ammarr (48.86 %), Besser Halou (45.03 %), Kentichi (50.84 %) et Horra (54.48 %). De plus, en comparaison avec les autres aliments les plus consommés en Algérie, DN a également la valeur la plus basse (15.93 %) par

rapport au banane (45.15 %), pêche (80.97%), orange (53.18 %), chou (66.06 %), fenouil (47.72 %) et citrouille (21.13 %) (**Djenidi et al., 2020**).

Les coefficients de corrélation entre les capacités antioxydantes et le contenu total en phénols, en flavonoïde et en tanin condensé des cultivars de dattes ont été déterminés par plusieurs études. Des relations positives significatives ont été obtenues entre la teneur totale en polyphénols et les capacités antioxydantes évaluées par les méthodes DPPH (0,803), FRAP (0,955) (**Benmeddour et al., 2013**), et le test de blanchiment au β -carotène (0.67) (**Souli et al., 2018**). Ces résultats sont en accord avec ceux de Mansouri *et al.* (2005) et de Louaileche *et al.* (2015) qui ont trouvé que le coefficient de corrélation entre le DPPH et la TTP est 0.99 et 0.77 respectivement (**Tableau XV**), ce qui signifie que les composés phénoliques contribuent de manière significative aux capacités antioxydantes des fruits de datte.

Une tendance similaire des relations est obtenue entre la teneur totale en flavonoïdes et les capacités antioxydantes. Les résultats présentés dans de nombreux études ont montré que les teneurs en flavonoïdes étaient significativement corrélées avec les tests de DPPH (0.98), du FRAP (0.96) (**Kchaou et al., 2014**) et du test de blanchiment au β -carotène : 0.83 (**Souli et al., 2018**) (**Tableau XV**), reflétant ainsi la contribution puissante des flavonoïdes aux capacités antioxydantes de fruit de datte.

De plus, des coefficients de corrélation significatifs ont été noté entre les capacités antioxydantes (DPPH, FRAP) et les teneurs en tanin condensé (0,627, 0,857 respectivement) (**Benmeddour et al., 2013**) (**Tableau XV**). Ce qui implique que les tanins pourraient être un composant responsable de la capacité antioxydante des extraits de dattes testés.

Tableau XV : Les coefficients de corrélation entre le contenu phénolique et l'activité antioxydante.

	TTP		TTF		Contenu en tanins condensés	
	Valeur	Etude	Valeur	Etude	Valeur	Etude
DPPH	0.803	Benmeddour et al. (2013)	0.98	kchaou et al. (2014)	0.627	Benmeddour et al. (2013)
FRAP	0.955		0.96		0.857	
Test de blanchiment au β carotène	0.67	Souli et al. (2018)	0.83	Souli et al. (2018)	/	

Conclusion

Conclusion

Le profil phénolique le plus évalué par les chercheurs durant leurs travaux sur les différentes variétés de dattes sont : le contenu phénolique total, la teneur totale en flavonoïdes et la teneur en tanins condensés. Ainsi que, les méthodes les plus utilisées pour déterminer l'activité antioxydante des polyphénols sont : le test DPPH, le FRAP et le test de blanchiment au β -carotène.

D'après les résultats obtenus de plusieurs études antérieures, Deglet Nour présente un profil phénolique important en comparaison avec les autres variétés de dattes avec une teneur élevée en flavonoïdes et en polyphénols totaux, tout en faible en tanins condensés.

En outre, DN présente une source phénolique moins importante par rapport aux aliments les plus consommés en Algérie ; avec des concentrations élevées en polyphénols totaux mais faibles en flavonoïdes et en tanins condensés.

De plus, Deglet Nour a montré un grand pouvoir antioxydant en comparaison avec les autres variétés de dattes selon les tests FRAP et DPPH, tandis qu'un faible effet antioxydant a été donné par le test de blanchiment au β -carotène. Aussi, elle présente une activité antioxydante inférieure à celles du banane, orange, chou, pêche, fenouil et citrouille selon les résultats du DPPH et du test de blanchiment au β -carotène, mais le pouvoir antioxydant donnée par le FRAP dans ce cas est plus élevé pour DN que les autres aliments.

Selon les données des études algériennes et tunisiennes, nous pouvons conclure que DN quelque soit son origine géographique présente une teneur phénolique et une capacité antioxydante assez similaire.

La corrélation positive entre le contenu phénolique et l'activité antioxydante de différentes variétés de dattes montrent que les polyphénols sont les antioxydants majeurs responsables à l'activité antioxydante de fruit de datte d'une manière générale et du Deglet Nour en précision.

Donc, Deglet Nour c'est une source considérable de composés phénoliques nécessaires dans la prévention du stress oxydatif et l'amélioration de la santé humaine.

Références
bibliographiques

Références bibliographiques

- Abbas, M., Saeed, F., Anjum, F. M., Afzaal, M., Tufail, T., Bashir, M. S., ... Suleria, H. A. R. (2016).** Natural polyphenols: An overview. *International Journal of Food Properties*, 20(8), 1689–1699.
- Abbès, F., Kchaou, W., Blecker, C., Ongena, M., Lognay, G., Attia, H., & Besbes, S. (2013).** Effect of processing conditions on phenolic compounds and antioxidant properties of date syrup. *Industrial Crops and Products*, 44, 634–642.
- Abu-Elteen, K. H. (2000).** Effects of date extract on adhesion of *Candida* species to human buccal epithelial cells in vitro. *Journal of Oral Pathology and Medicine*, 29(5), 200–205.
- Ahmed, I. Ahmed, K. A., & Robinson, k. R. (1995).** Chemical composition of date varieties as influenced by the stage of ripening. *Food Chemistry*, 54(3), 305–309.
- Al-Farsi, M. A., & Lee, C. Y. (2008).** Nutritional and Functional Properties of Dates: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48(10), 877–887.
- Al-Farsi, M., Alasalvar, C., Morris, A., Baron, M., & Shahidi, F. (2005).** Compositional and Sensory Characteristics of Three Native Sun-Dried Date (*Phoenix dactylifera*L.) Varieties Grown in Oman. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(19), 7586–7591.
- Al-Harrasi, A., Rehman, N. U., Hussain, J., Khan, A. L., Al-Rawahi, A., Gilani, S. A., ... Ali, L. (2014).** Nutritional assessment and antioxidant analysis of 22 date palm (*Phoenix dactylifera*) varieties growing in Sultanate of Oman. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 7, S591–S598.
- Al-Hooti, S. N., Sidhu, J. S., Al-Saqer, J. M., & Al-Othman, A. (2002).** Chemical composition and quality of date syrup as affected by pectinase/cellulase enzyme treatment. *Food Chemistry*, 79(2), 215–220.
- Ali, H., Al-khalifa, A., Farouk, A., & Shaheen, M. (2018).** Effect of Maturation Stages on Flavor Profile and Antioxidant Activity of Date Palm Fruits (*Phoenix dactylifera*) Grown in Saudi Arabia. *International Journal of Pharmacology*, 14(3), 407-414.
- Allaith, A. (2019).** Antioxidants in Date Fruits and the Extent of the Variability of the Total Phenolic Content: Review and Analysis. *Antioxidants*. doi.org/10.5772/intechopen.83851.
- Allaith, A. A. A. (2008).** Antioxidant activity of Bahraini date palm (*Phoenix dactylifera*L.) fruit of various cultivars. *International Journal of Food Science & Technology*, 43(6), 1033–1040.

- Al-Mssallem, I. S., Hu, S., Zhang, X., Lin, Q., Liu, W., Tan, J., ... Yu, J. (2013).** Genome sequence of the date palm *Phoenix dactylifera* L. *Nature Communications*, 4(1), 1–9.
- Al-Shahib, W., & Marshall, R. J. (2003).** The fruit of the date palm: its possible use as the best food for the future? *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 54(4), 247–259.
- Al-Shwyeh, H. A. (2019).** Date palm (*Phoenix dactylifera* L.) Fruit as potential antioxidant and antimicrobial agents. *Journal of Pharmacy & Bioallied Sciences*, 11(1), 1–11.
- Andriambelason, E., Kleschyov, A. L., Muller, B., Beretz, A., Stoclet, J. C., & Andriantsitohaina, R. (1997).** Nitric oxide production and endothelium-dependent vasorelaxation induced by wine polyphenols in rat aorta. *British Journal of Pharmacology*, 120(6), 1053–1058.
- Arts, I. C., & Hollman, P. C. (2005).** Polyphenols and disease risk in epidemiologic studies. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 81(1), 317S–325S.
- Babior, B. M. (2004).** NADPH oxidase. *Current Opinion in Immunology*, 16(1), 42–47.
- Baliga, M. S., Baliga, B. R. V., Kandathil, S. M., Bhat, H. P., & Vayalil, P. K. (2011).** A review of the chemistry and pharmacology of the date fruits (*Phoenix dactylifera* L.). *Food Research International*, 44(7), 1812–1822.
- Bastianetto, S., Brouillette, J., & Quirion, R. (2007).** Neuroprotective Effects of Natural Products: Interaction with Intracellular Kinases, Amyloid Peptides and a Possible Role for Transthyretin. *Neurochemical Research*, 32(10), 1720–1725.
- Belščak-Cvitanović, A., Durgo, K., Hudek, A., Bačun-Družina, V., & Komes, D. (2018).** Overview of polyphenols and their properties. *Polyphenols: Properties, Recovery, and Applications*, 3–44.
- Benmeddour, Z., Mehinagic, E., Meurlay, D. L., & Louaileche, H. (2013).** Phenolic composition and antioxidant capacities of ten Algerian date (*Phoenix dactylifera* L.) cultivars: A comparative study. *Journal of Functional Foods*, 5(1), 346–354.
- Besbes, S., Blecker, C., Deroanne, C., Drira, N.-E., & Attia, H. (2004).** Date seeds: chemical composition and characteristic profiles of the lipid fraction. *Food Chemistry*, 84(4), 577–584.
- Beta, T., Nam, S., Dexter, J. E., & Sapirstein, H. D. (2005).** Phenolic Content and Antioxidant Activity of Pearled Wheat and Roller-Milled Fractions. *Cereal Chemistry Journal*, 82(4), 390–393.

- Bhandary, B., Marahatta, A., Kim, H.-R., & Chae, H.-J. (2012).** An Involvement of Oxidative Stress in Endoplasmic Reticulum Stress and Its Associated Diseases. *International Journal of Molecular Sciences*, 14(1), 434–456.
- Bhattacharyya, A., Chattopadhyay, R., Mitra, S., & Crowe, S. E. (2014).** Oxidative Stress: An Essential Factor in the Pathogenesis of Gastrointestinal Mucosal Diseases. *Physiological Reviews*, 94(2), 329–354.
- Birben, E., Sahiner, U. M., Sackesen, C., Erzurum, S., & Kalayci, O. (2012).** Oxidative Stress and Antioxidant Defense. *World Allergy Organization Journal*, 5(1), 9–19.
- Bohui, P., S., G., Adima, A., A., Niamké, F., B., N'Guessan, J., D. (2018).** Etude comparative de trois méthodes d'extraction des flavonoïdes totaux à partir des feuilles de plantes médicinales : *Azadirachta indica* et *Psidium guajava*. *Journal de la Société Ouest-Africaine de Chimie*, 46, 50–58.
- Borel, P. (2014).** Biodisponibilité des phytomicronutriments : Mécanismes impliqués et stratégies d'amélioration. *Innovations Agronomiques*, 42, 27–37.
- Bouaziz, A., khennouf, S., zarga, M. A., Abdalla, S., Baghiani, A., & Charef, N. (2015).** Phytochemical analysis, hypotensive effect and antioxidant properties of *Myrtus communis* L. growing in Algeria. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 5(1), 19–28.
- Bouhlali, E. dine T., Ramchoun, M., Alem, C., Ghafoor, K., Ennassir, J., & Zegzouti, Y. F. (2017).** Functional composition and antioxidant activities of eight Moroccan date fruit varieties (*Phoenix dactylifera* L.). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 16(3), 257–264.
- Bovell-Benjamin, A. C., & Roberts, J. (2016).** Naturally Occurring Toxicants: Presence in Selected Commonly Consumed Fruits. *Regulating Safety of Traditional and Ethnic Foods*, 247–282.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995).** Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1), 25–30.
- Burk, R. F. (2002).** Selenium, an Antioxidant Nutrient. *Nutrition in Clinical Care*, 5(2), 75–79.
- Burton, G. J., & Jauniaux, E. (2011).** Oxidative stress. *Best Practice & Research Clinical Obstetrics & Gynaecology*, 25(3), 287–299.

- Calcinotto, A., Kohli, J., Zagato, E., Pellegrini, L., Demaria, M., & Alimonti, A. (2019).** Cellular Senescence: Aging, Cancer, and Injury. *Physiological Reviews*, 99(2), 1047–1078.
- Chouhan, S., Sharma, K., Zha, J., Guleria, S., & Koffas, M. A. G. (2017).** Recent Advances in the Recombinant Biosynthesis of Polyphenols. *Frontiers in Microbiology*, 8.
- Cowan, M. M. (1999).** Plant Products as Antimicrobial Agents. *Clinical Microbiology Reviews*, 12(4), 564–582.
- Craft, B. D., Kerrihard, A. L., Amarowicz, R., Pegg, R. B., (2012).** Phenol-based antioxidants and the In Vitro methods used for their assessment. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 11, 148–173.
- D’Archivio, M., Filesi, C., Vari, R., Scazzocchio, B., & Masella, R. (2010).** Bioavailability of the Polyphenols: Status and Controversies. *International Journal of Molecular Sciences*, 11(4), 1321–1342.
- Dai, J., & Mumper, R. J. (2010).** Plant Phenolics: Extraction, Analysis and Their Antioxidant and Anticancer Properties. *Molecules*, 15(10), 7313–7352.
- Dayang, J.F., Reuben, C.R., & Raji, F. (2014).** Nutritional, socioeconomic and health benefits of dates. *International Journal of Food and Nutritional Science*, 3(6), 63–73.
- De Boer, V. C. J., de Goffau, M. C., Arts, I. C. W., Hollman, P. C. H., & Keijer, J. (2006).** SIRT1 stimulation by polyphenols is affected by their stability and metabolism. *Mechanisms of Ageing and Development*, 127(7), 618–627.
- Deaton, C. M., & Marlin, D. J. (2003).** Exercise-associated oxidative stress. *Clinical Techniques in Equine Practice*, 2(3), 278–291.
- Defraigne J.O., & Pincemail, J. (2008).** STRESS OXYDANT ET ANTIOXYDANTS : mythes et réalités. *Revue Médicale de Liège*, 63, 10-19.
- Di Meo, S., Reed, T. T., Venditti, P., & Victor, V. M. (2016).** Role of ROS and RNS Sources in Physiological and Pathological Conditions. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2016, 1–44.
- Diebolt, M., Bucher, B., & Andriantsitohaina, R. (2001).** Wine Polyphenols Decrease Blood Pressure, Improve NO Vasodilatation, and Induce Gene Expression. *Hypertension*, 38(2), 159–165.

- Djenidi, H., Khennouf, S., Bouaziz, A. (2020).** Antioxidant activity and phenolic content of commonly consumed fruits and vegetables in Algeria. *Progress in Nutrition*, 22(1), 224–235.
- Djerbi, M., (1994).** Précis de phoeniciculture. FAO, 192 p
- Dröge, W. (2002).** Free Radicals in the Physiological Control of Cell Function. *Physiological Reviews*, 82(1), 47–95.
- El Gharras, H. (2009).** Polyphenols: food sources, properties and applications - a review. *International Journal of Food Science & Technology*, 44(12), 2512–2518.
- El-Sharnouby, G. A., Al-Eid, S. M., & Al-Otaibi, M. M. (2009).** Utilization of enzymes in the production of liquid sugar from dates. *African Journal of Biochemistry Research*, 3(3), 41–47.
- Eltayeb, E. A., Alhasani, A. S., & Farooq, S. A., 1999.** Changes in soluble sugar content during development of fruits in some varieties of Oman date palm (*Phoenix dactylifera* L.). *Pakistan J. of Biological Sciences*, 2(1), 255–258.
- Emerit, J., Edeas, M., & Bricaire, F. (2004).** Neurodegenerative diseases and oxidative stress. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 58(1), 39–46.
- Espiard, E., 2002.** Introduction à la transformation industrielle des fruits. Ed. Tech et Doc-Lavoisier, p 360.
- Fabre, G., Bayach, I., Berka, K., Paloncýová, M., Starok, M., Rossi, C., ... Trouillas, P. (2015).** Synergism of antioxidant action of vitamins E, C and quercetin is related to formation of molecular associations in biomembranes. *Chemical Communications*, 51(36), 7713–7716.
- FAO STAT, (2013).** Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponible à <http://faostat.fao.org/> .
- Favier, A. (2003).** Le stress oxydant, Intérêt conceptuel et expérimental dans la Compréhension des mécanismes des maladies et potentiel thérapeutique. *L'actualité Chimique*, 108–115
- Finaud, J., Lac, G., & Filaire, E. (2006).** Oxidative Stress. *Sports Medicine*, 36(4), 327–358.
- Fu, L., Xu, B.-T., Xu, X.-R., Gan, R.-Y., Zhang, Y., Xia, E.-Q., & Li, H.-B. (2011).** Antioxidant capacities and total phenolic contents of 62 fruits. *Food Chemistry*, 129(2), 345–350.
- Galle, J., Hansen-Hagge, T., Wanner, C., & Seibold, S. (2006).** Impact of oxidized low density lipoprotein on vascular cells. *Atherosclerosis*, 185(2), 219–226.

- Ghiaba, Z., Boukouada, M., Djeridane, A., Saidi, M., & Yousfi, M. (2012).** Screening of antioxidant activity and phenolic compounds of various date palm (*Phoenix dactylifera*) fruits from Algeria. *Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism*, 5(2), 119–126.
- Gnanamangai, B. M., Saranya, S., Ponmurugan, P., Kavitha, S., Pitchaimuthu, S., & Divya, P. (2019).** Analysis of Antioxidants and Nutritional Assessment of Date Palm Fruits. *Energy Generation Using Reverse Electrodialysis*, 19–40.
- Graf, B. A., Milbury, P. E., & Blumberg, J. B. (2005).** Flavonols, Flavones, Flavanones, and Human Health: Epidemiological Evidence. *Journal of Medicinal Food*, 8(3), 281–290.
- Guignard J.L. (1996).** Abrégé de biochimie végétale, 2ème édition. Masson, Paris, 160 p
- Gülçin, I., 2006.** Antioxidant activity of caffeic acid (3,4 dihydroxycinnamic acid). *Toxicology*, 217, 213–220.
- Hagerman, A., Harvey-Mueller, I., & Makkar, H. P. S. (2000).** Quantification of tannins in tree foliage, a laboratory manual. Vienna: FAO/IAEA. 4–7.
- Haleng, J., Pincemail, J., Defraigne, J. O., Charlier, C., & Chapelle, J. P. (2007).** Le stress oxydant. *Revue médicale de Liège*, 62(10), 628-38.
- Hamad, I., Abdelgawad, H., Al Jaouni, S., Zinta, G., Asard, H., Hassan, S., ... Selim, S. (2015).** Metabolic Analysis of Various Date Palm Fruit (*Phoenix dactylifera* L.) Cultivars from Saudi Arabia to Assess Their Nutritional Quality. *Molecules*, 20(8), 13620–13641.
- Han, X., Shen, T., & Lou, H. (2007).** Dietary Polyphenols and Their Biological Significance. *International Journal of Molecular Sciences*, 8(9), 950–988.
- Hartman, R. E., Shah, A., Fagan, A. M., Schwetye, K. E., Parsadaniyan, M., Schulman, R. N., ... Holtzman, D. M. (2006).** Pomegranate juice decreases amyloid load and improves behavior in a mouse model of Alzheimer's disease. *Neurobiology of Disease*, 24(3), 506–515.
- Hogervorst Cvejić, J., Atanacković Krstonošić, M., Bursać, M., & Miljić, U. (2017).** Polyphenols. *Nutraceutical and Functional Food Components*, 203–258.
- Hopkins, W. G. (2003).** Physiologie végétale. *De Boeck Supérieur*, p 280.
- Huang, J., de Paulis, T., & May, J. M. (2004).** Antioxidant effects of dihydrocaffeic acid in human EA.hy926 endothelial cells. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 15(12), 722–729.

- Ighodaro, O. M., & Akinloye, O. A. (2017).** First line defence antioxidants-superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and glutathione peroxidase (GPX): Their fundamental role in the entire antioxidant defence grid. *Alexandria Journal of Medicine*. doi.org/10.1016/j.ajme.2017.09.001.
- Iijima, K., Yoshizumi, M., Hashimoto, M., Kim, S., Eto, M., Ako, J., ... Ouchi, Y. (2000).** Red Wine Polyphenols Inhibit Proliferation of Vascular Smooth Muscle Cells and Downregulate Expression of Cyclin A Gene. *Circulation*, 101(7), 805–811.
- Ismail, B., Henry, J., Haffar, I., & Baalbaki, R. (2006).** Date consumption and dietary significance in the United Arab Emirates. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(8), 1196–1201.
- Jassim, S. A. A., & Naji, M. A. (2010).** In Vitro Evaluation of the Antiviral Activity of an Extract of Date Palm (*Phoenix dactylifera*L.) Pits on a *Pseudomonas* Phage. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 7(1), 57–62.
- Jomova, K., & Valko, M. (2011).** Advances in metal-induced oxidative stress and human disease. *Toxicology*, 283(2-3), 65–87.
- Kacem-Chaouche, N., Dehimat, L., Meraihi, Z., Destain, J., Kahlat, K., & Thonart, P. (2013).** Decommissioned dates: chemical composition and fermentation substrate for the production of extracellular catalase by an *Aspergillus phoenicis* mutant. *Agriculture and Biology Journal of North America*, 4(1), 41–47.
- Kartal, N., Sokmen, M., Tepe, B., Daferera, D., Polissiou, M., & Sokmen, A. (2007).** Investigation of the antioxidant properties of *Ferula orientalis* L. using a suitable extraction procedure. *Food Chemistry*, 100(2), 584–589.
- Kchaou, W., Abbès, F., Attia, H., & Besbes, S. (2014).** In Vitro Antioxidant Activities of Three Selected Dates from Tunisia (*Phoenix dactylifera*L.). *Journal of Chemistry*, 2014, 1–8.
- Kchaou, W., Abbès, F., Blecker, C., Attia, H., & Besbes, S. (2013).** Effects of extraction solvents on phenolic contents and antioxidant activities of Tunisian date varieties (*Phoenix dactylifera* L.). *Industrial Crops and Products*, 45, 262–269.
- Klaunig, J. E., & Kamendulis, L. M. (2004).** THE ROLE OF OXIDATIVE STRESS IN CARCINOGENESIS. *Annual Review of Pharmacology and Toxicology*, 44(1), 239–267.

- Kohen, R., & Nyska, A. (2002).** Invited Review: Oxidation of Biological Systems: Oxidative Stress Phenomena, Antioxidants, Redox Reactions, and Methods for Their Quantification. *Toxicologic Pathology*, 30(6), 620–650.
- Lacy, A. (2004).** Studies on Coumarins and Coumarin-Related Compounds to Determine their Therapeutic Role in the Treatment of Cancer. *Current Pharmaceutical Design*, 10(30), 3797–3811.
- Lagnika, L. (2005).** Etude phytochimique et activité biologique de substances naturelles isolées de plantes béninoises. Thèse de doctorat. Université Louis Pasteur. Strasbourg, 249 p
- Lanier, K. A., & Williams, L. D. (2017).** The Origin of Life: Models and Data. *Journal of Molecular Evolution*, 84(2-3), 85–92.
- Li, A.-N., Li, S., Zhang, Y.-J., Xu, X.-R., Chen, Y.-M., & Li, H.-B. (2014).** Resources and Biological Activities of Natural Polyphenols. *Nutrients*, 6(12), 6020–6047.
- Liguori, I., Russo, G., Curcio, F., Bulli, G., Aran, L., Della-Morte, D., ... Abete, P. (2018).** Oxidative stress, aging, and diseases. *Clinical Interventions in Aging*, Volume 13, 757–772.
- Lin, C.-M., Chen, C.-S., Chen, C.-T., Liang, Y.-C., & Lin, J.-K. (2002).** Molecular modeling of flavonoids that inhibits xanthine oxidase. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 294(1), 167–172.
- Liu, S., Willett, W. C., Stampfer, M. J., Hu, F. B., Franz, M., Sampson, L., ... Manson, J. E. (2000).** A prospective study of dietary glycemic load, carbohydrate intake, and risk of coronary heart disease in US women. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 71(6), 1455–1461.
- Lochab, B., Shukla, S., & Varma, I. K. (2014).** Naturally occurring phenolic sources: monomers and polymers. *RSC Advances*, 4(42), 21712–21752.
- Louaileche, H., Hammiche, D., & Hamoudi, F. (2015).** Total Phenolic, Flavonoid Contents and in Vitro Antioxidant Activity of Algerian Date Palm Varieties: A Comparative Study. *American Journal of Food Science and Health*, 1(3), 63–68.
- Macheix, J.-J., Fleuriet, F. & Jay-Allemand, C. (2005).** Les composés phénoliques des végétaux : Un exemple de métabolites secondaires d'importance économique. *Presses polytechniques et universitaires romandes*, p 134.

- Mahmood, Z., Yameen, M., Jahangeer, M., Riaz, M., Ghaffar, A., & Javid, I. (2018).** Lignin as Natural Antioxidant Capacity. *Lignin - Trends and Applications*.
- Manach, C., Scalbert, A., Morand, C., Rémésy, C., & Jiménez, L. (2004).** Polyphenols: food sources and bioavailability. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 79(5), 727–747.
- Mansouri, A., Embarek, G., Kokkalou, E., & Kefalas, P. (2005).** Phenolic profile and antioxidant activity of the Algerian ripe date palm fruit (*Phoenix dactylifera*). *Food Chemistry*, 89(3), 411–420.
- Mao, X., Gu, C., Chen, D., Yu, B., & He, J. (2017).** Oxidative stress-induced diseases and tea polyphenols. *Oncotarget*, 8(46).
- Martin, S., & Andriantsitohaina, R. (2002).** Mécanismes de la protection cardiaque et vasculaire des polyphénols au niveau de l'endothélium. *Annales de Cardiologie et d'Angéiologie*, 51(6), 304–315.
- Masella, R., Di Benedetto, R., Vari, R., Filesi, C., & Giovannini, C. (2005).** Novel mechanisms of natural antioxidant compounds in biological systems: involvement of glutathione and glutathione-related enzymes. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 16(10), 577–586.
- Matloob, M. H., & Balakit, A. A. A., (2016).** Phenolic content of various date palms fruits and vinegars from Iraq. *International Journal of Chemical Sciences*, 14(4), 1894–1906.
- Menvielle-Bourg, F. J. (2005).** La superoxyde dismutase, puissant antioxydant naturel, désormais disponible par voie orale. *Phytotherapie*, 3(3), 118–121.
- Messar, E. M. (1996).** Le secteur phoenicicole algérien : Situation et perspectives à l'horizon 2010. *Options Méditerranéennes*, 28, 23-44.
- Migdal, C., & Serres, M. (2011).** Espèces réactives de l'oxygène et stress oxydant. *Médecine/sciences*, 27(4), 405–412.
- Molina, M. F., Sanchez-Reus, I., Iglesias, I., & Benedi, J. (2003).** Quercetin, a Flavonoid Antioxidant, Prevents and Protects against Ethanol-Induced Oxidative Stress in Mouse Liver. *Biological & Pharmaceutical Bulletin*, 26(10), 1398–1402.
- Morand, C., Milenkovic, D. (2014).** Polyphénols et santé vasculaire: mise en évidence du rôle direct des polyphénols dans les effets bénéfiques des agrumes dans la protection vasculaire. *Innovations Agronomiques*, 42, 47–62.

- Mukherjee, P. K. (2019).** Qualitative Analysis for Evaluation of Herbal Drugs. *Quality Control and Evaluation of Herbal Drugs*, 79–149.
- Munier, P. 1973.** Le palmier dattier. *Édition G.-P. Maisonneuve & Larousse. Paris*, p 221.
- Naczk, M., & Shahidi, F. (2004).** Extraction and analysis of phenolics in food. *Journal of Chromatography A*, 1054(1-2), 95–111.
- Nasir, M. U., Hussain, S., Jabbar, S., Rashid, F., Khalid, N., & Mehmood, A. (2015).** A review on the nutritional content, functional properties and medicinal potential of dates. *Science Letters*, 3(1), 17–22.
- Nielsen, V. G., Tan, S., Weinbroum, A., McCammon, A. T., Samuelson, P. N., Gelman, S., & Parks, D. A. (1996).** Lung injury after hepatoenteric ischemia-reperfusion: role of xanthine oxidase. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 154(5), 1364–1369.
- Olszowy, M. (2019).** What is responsible for antioxidant properties of polyphenolic compounds from plants? *Plant Physiology and Biochemistry*. doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.09.039.
- Ordoudi, S. A., Tsimidou, M. Z., Vafiadis, A. P., & Bakalbassis, E. G. (2006).** Structure –DPPH• Scavenging Activity Relationships: Parallel Study of Catechol and Guaiacol Acid Derivatives. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(16), 5763–5768.
- Ott, M., Gogvadze, V., Orrenius, S., & Zhivotovsky, B. (2007).** Mitochondria, oxidative stress and cell death. *Apoptosis*, 12(5), 913–922.
- Ozsoy, N., Can, A., Yanardag, R., & Akev, N. (2008).** Antioxidant activity of Smilax excelsa L. leaf extracts. *Food Chemistry*, 110(3), 571–583.
- Pandey, K. B., & Rizvi, S. I. (2009).** Plant Polyphenols as Dietary Antioxidants in Human Health and Disease. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2(5), 270–278.
- Panza, V. S. P., Wazlawik, E., Ricardo Schütz, G., Comin, L., Hecht, K. C., & da Silva, E. L. (2008).** Consumption of green tea favorably affects oxidative stress markers in weight-trained men. *Nutrition*, 24(5), 433–442.
- Pavan, F. R., de Carvalho, G. S. G., da Silva, A. D., & Leite, C. Q. F. (2011).** Synthesis and Anti-Mycobacterium tuberculosis Evaluation of Aza-Stilbene Derivatives. *The Scientific World JOURNAL*, 11, 1113–1119.
- Peters, J. M., Cheung, C., & Gonzalez, F. J. (2005).** Peroxisome proliferator-activated receptor- α and liver cancer: where do we stand? *Journal of Molecular Medicine*, 83(10), 774–785.

- Peyron, G. (2000).** Cultiver le palmier dattier. 1^{ère} édition. La librairie du Cirad Montpellier, France, p 109.
- Phaniendra, A., Jestadi, D. B., & Periyasamy, L. (2014).** Free Radicals: Properties, Sources, Targets, and Their Implication in Various Diseases. *Indian Journal of Clinical Biochemistry*, 30(1), 11–26.
- Pizzino, G., Irrera, N., Cucinotta, M., Pallio, G., Mannino, F., Arcoraci, V., ... Bitto, A. (2017).** Oxidative Stress: Harms and Benefits for Human Health. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2017, 1–13.
- Preiser, J.-C. (2012).** Oxidative Stress. *Journal of Parenteral and Enteral Nutrition*, 36(2), 147–154.
- Pryor, W. A. (2000).** Vitamin E and heart disease. *Free Radical Biology and Medicine*, 28(1), 141–164.
- Quideau, S., Deffieux, D., Douat-Casassus, C., & Pouységou, L. (2011).** Plant Polyphenols: Chemical Properties, Biological Activities, and Synthesis. *Angewandte Chemie International Edition*, 50(3), 586–621.
- Rachedi, A. F., Meraghni, S., Touaibia, N., & Sabrina, M. (2018).** Analyse quantitative des composés phénoliques d'une endémique algérienne *Scabiosa Atropurpurea sub. Maritima* L.. *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège*, 87, 13–21.
- Reuter, S., Gupta, S. C., Chaturvedi, M. M., & Aggarwal, B. B. (2010).** Oxidative stress, inflammation, and cancer: How are they linked? *Free Radical Biology and Medicine*, 49(11), 1603–1616.
- Rodrigo, R., González, J., & Paoletto, F. (2011).** The role of oxidative stress in the pathophysiology of hypertension. *Hypertension Research*, 34(4), 431–440.
- Roy, J., Galano, J.-M., Durand, T., Le Guennec, J.-Y., & Lee, J. C.-Y. (2017).** Physiological role of reactive oxygen species as promoters of natural defenses. *The FASEB Journal*, 31(9), 3729–3745.
- Sakin Abdrabo, S. (2013).** Analytical methods applied to the chemical characterization and classification of palm dates (*Phoenix dactylifera* L.) from Elche's Palm Grove. <http://hdl.handle.net/10045/28817>.

- Sandoval-Acuña, C., Ferreira, J., & Speisky, H. (2014).** Polyphenols and mitochondria: An update on their increasingly emerging ROS-scavenging independent actions. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 559, 75–90.
- Scalbert, A., Manach, C., Morand, C., Rémésy, C., & Jiménez, L. (2005).** Dietary Polyphenols and the Prevention of Diseases. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 45(4), 287–306.
- Shafiei, M., Karimi, K., & Taherzadeh, M. J. (2010).** Palm Date Fibers: Analysis and Enzymatic Hydrolysis. *International Journal of Molecular Sciences*, 11(11), 4285–4296.
- Shahidi, F., & Yeo, J. (2018).** Bioactivities of Phenolics by Focusing on Suppression of Chronic Diseases: A Review. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(6), 1573.
- Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999).** Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, 152–178.
- Souli, I., Jemni, M., Rodríguez-Verástegui, L. L., Chaira, N., Artés, F., & Ferchichi, A. (2018).** Phenolic composition profiling of Tunisian 10 varieties of common dates (*Phoenix dactylifera* L.) at tamar stage using LC-ESI-MS and antioxidant activity. *Journal of Food Biochemistry*, e12634.
- Stagos, D. (2019).** Antioxidant Activity of Polyphenolic Plant Extracts. *Antioxidants*, 9(1), 19.
- Stahl, W. (2002).** Bioavailability and metabolism. *Molecular Aspects of Medicine*, 23(1-3), 39–100.
- Steffen, Y., Gruber, C., Schewe, T., & Sies, H. (2008).** Mono-O-methylated flavanols and other flavonoids as inhibitors of endothelial NADPH oxidase. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 469(2), 209–219.
- Tamion, F. (2003).** Ischémie–reperfusion mésentérique lors des états de choc : principaux aspects physiopathologiques Splanchnic ischemia – reperfusion in shock : pathophysiology. *Réanimation*, 12(6), 441–448.
- Tapas, A., Sakarkar, D., & Kakde, R. (2008).** Flavonoids as Nutraceuticals: A Review. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 7(3).
- Therond, P. (2006).** Dommages créés aux biomolécules (lipides, protéines, ADN) par le stress oxydant. *Annales Pharmaceutiques Françaises*, 64(6), 383–389.
- Traber, M. G., & Atkinson, J. (2007).** Vitamin E, antioxidant and nothing more. *Free Radical Biology and Medicine*, 43(1), 4–15.

- Tsao, R. (2010).** Chemistry and Biochemistry of Dietary Polyphenols. *Nutrients*, 2(12), 1231–1246.
- Valko, M., Izakovic, M., Mazur, M., Rhodes, C. J., & Telser, J. (2004).** Role of oxygen radicals in DNA damage and cancer incidence. *Molecular and Cellular Biochemistry*, 266(1/2), 37–56.
- Valko, M., Rhodes, C. J., Moncol, J., Izakovic, M., & Mazur, M. (2006).** Free radicals, metals and antioxidants in oxidative stress-induced cancer. *Chemico-Biological Interactions*, 160(1), 1–40.
- Van Acker, S. A. B. E., Van Den Berg, D., Tromp, M. N. J. L., Griffioen, D. H., Van Bennekom, W. P., Van Der Vijgh, W. J. F., & Bast, A. (1996).** Structural aspects of antioxidant activity of flavonoids. *Free Radical Biology and Medicine*, 20(3), 331–342.
- Vauzour, D., Rodriguez-Mateos, A., Corona, G., Oruna-Concha, M. J., & Spencer, J. P. E. (2010).** Polyphenols and Human Health: Prevention of Disease and Mechanisms of Action. *Nutrients*, 2(11), 1106–1131.
- Vayalil, P. K. (2002).** Antioxidant and Antimutagenic Properties of Aqueous Extract of Date Fruit (Phoenix dactylifera L. Arecaceae). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(3), 610–617.
- Völkel, W., Sicilia, T., Pähler, A., Gsell, W., Tatschner, T., Jellinger, K., ... Götz, M. E. (2006).** Increased brain levels of 4-hydroxy-2-nonenal glutathione conjugates in severe Alzheimer's disease. *Neurochemistry International*, 48(8), 679–686.
- Waksmundzka-Hajnos, M. & Sherma, J. (2011).** High Performance Liquid Chromatography in Phytochemical science. *Chromatographic Science Series*, 477–478.
- Wang, J., Xu, J., Gong, X., Yang, M., Zhang, C., & Li, M. (2019).** Biosynthesis, Chemistry, and Pharmacology of Polyphenols from Chinese Salvia Species: A Review. *Molecules*, 24(1), 155.
- Wollgast, J., & Anklam, E. (2000).** Review on polyphenols in Theobroma cacao: changes in composition during the manufacture of chocolate and methodology for identification and quantification. *Food Research International*, 33(6), 423–447.
- Zydorczyk, C., Mitanchez, D., Buffat, C., Ligi, I., Grandvilllemin, I., Boubred, F., & Simeoni, U. (2015).** Stress oxydant chez l'enfant prématuré : causes, biomarqueurs et possibilités thérapeutiques. *Archives de Pédiatrie*, 22(10), 1047–1055.

- Zana, M., Janka, Z., & Kálmán, J. (2007).** Oxidative stress: A bridge between Down's syndrome and Alzheimer's disease. *Neurobiology of Aging*, 28(5), 648–676.
- Zeroual, S., Daoud, I., Gaouaoui, R., Ghalem, S. (2020).** In vitro and Molecular Docking Studies of DPPH with Phoenix dactylifera L. (Deglet-Nour) Crude Fruits extracts and Evaluation of their Antioxidant Activity. *Asian Journal of Research in Chemistry*, 13(1), 52–59.
- Zuo, L., Zhou, T., Pannell, B. K., Ziegler, A. C., & Best, T. M. (2015).** Biological and physiological role of reactive oxygen species - the good, the bad and the ugly. *Acta Physiologica*, 214(3), 329–348.

Réalisé par : BOUHALI Meriem BOUGUERNE Sara BOUMAIZA Amira	Jury : Présidente : M ^{me} MEZAHM Tassadit. Examinatrice : M ^{me} REZZAGUI Abir. Encadrant : Dr. BOUTENNOUN Hanane.
Thème	
Activité antioxydante des polyphénols du fruit de <i>Phoenix dactylifera</i> L.	
Résumé	
<p>La surproduction des espèces réactives de l'oxygène au delà des capacités antioxydantes des systèmes biologiques donne lieu au stress oxydant. L'une des voies de lutte contre le stress oxydatif est la consommation adéquate d'aliments riches en polyphénols. Notre travail vise à montrer l'importance de la variété de dattes Deglet Nour algérienne en tant qu'une source riche en polyphénols et en capacité antioxydante via une analyse comparative des résultats obtenus de nombreuses études antérieures. Les résultats des études ont révélé que Deglet Nour algérienne est la variété la plus riche en polyphénols (teneur en polyphénols (84.15µg EAG/mg PF), teneur en flavonoïdes (60.01 mg EQ/100 g PF), teneur en tanins condensés (184.34 mg E de cyandine / 100g PS)) et en activité antioxydante (DPPH (76.62%), FRAP (3.27 mM), test de blanchiment au β-carotène (15.93 %)) par rapport aux autres cultivars, tandis qu'elle est considérée comme faible source en tanins condensés (1.86 µg EAT /mg), en flavonoïdes (0.22 µg EQ/ mg de PF), DPPH (IC₅₀) (3.92 mg/ml), FRAP (108.53 mg/ml), test de blanchiment au β-carotène (15.93 %)) par rapport aux autres aliments les plus consommés en Algérie. De plus, les résultats positifs de la corrélation obtenu entre le contenu phénolique total et l'activité antioxydante des dattes (DPPH (0.803), FRAP (0.955), le test de blanchiment au β-carotène (0.67)) indique que les polyphénols peuvent être les composants responsables à leurs activité antioxydante.</p>	
Mots clés : Activité antioxydante, Deglet Nour, Espèces réactives de l'oxygène, Polyphénols.	
Abstract	
<p>The overproduction of reactive oxygen species beyond the antioxidant capacities of biological systems gives rise to oxidative stress. One of the ways to fight oxidative stress is the adequate consumption of foods which are rich in polyphenols. The present study aims to show the importance of the Algerian Date "Deglet Nour" as a rich source of polyphenols and its antioxidant capacity via a comparative analysis of the results obtained from many previous studies. The results studied revealed that the Algerian Deglet nour is the richest variety in polyphenols (polyphenols content (84.15µg GAE/ mg FW), flavonoids content (60.01 mg QE / 100 g FW), content in condensed tannins (184.34 mg cyandine E / 100g DW)) and in the antioxidant activity (DPPH (76.62%), FRAP (3.27 mM), β-carotene bleaching test (15.93%)) compared to others cultivars, on the other hands it is considered as a low source in condensed tannins (1.86 µg TAE /mg FW), flavonoids content (0.22 µg QE/ mg FW), DPPH (IC₅₀) (3.92 mg/ml), FRAP (108.53 mg/ml), β-carotene bleaching test (15.93%)) in comparison to others most consumed foods in Algeria. In addition, the positive correlation between the total phenolic content and the antioxidant activity of dates (DPPH (0.803), FRAP (0.955), the β-carotene bleaching test (0.67)) indicates that polyphenols may be the responsible component for their antioxidant activity.</p>	
Key words : Antioxydant activity, Deglet Nour, Polyphénols, Reactive oxygen species.	
ملخص	
<p>يؤدي الإفراط في إنتاج أنواع الأكسجين التفاعلية بما يتجاوز القدرات المضادة للأكسدة للأنظمة البيولوجية إلى الإجهاد التأكسدي. تتمثل إحدى طرق مكافحة الإجهاد التأكسدي في الاستهلاك الكافي للأطعمة الغنية بمتعددات الفينول. يهدف عملنا إلى إظهار أهمية صنف التمور الجزائري دجلة نور كمصدر غني بالبوليفينول وبالقدرة المضادة للأكسدة من خلال تحليل مقارن للنتائج التي تم الحصول عليها من دراسات سابقة. أظهرت نتائج الدراسات أن دجلة نور الجزائرية هي الأكثر ثراءً بالبوليفينولات (محتوى البوليفينولات (84.15 ميكروغرام EAG /مغ PF) ، محتوى الفلافونويدات (60.01 مغ EQ / 100 غرام PF) ، محتوى التانينات المكثفة (184.34 مغ E de cyandine / 100 غرام PS) و بالنشاط المضاد للأكسدة DPPH (76.62%) ، FRAP (3.27 ممول/ل)، اختبار التبييض β-carotène (15.93%) مقارنة بأصناف التمور الأخرى. في حين أنه يعتبر مصدر منخفض من التانينات المكثفة (1.86 ميكروغرام EAT /مغ PF) من الفلافونويدات (0.22 ميكروغرام EQ /مغ PF) ، DPPH (IC₅₀) (3.92 مغ/مل) ، FRAP (108.53 مغ/مل)، اختبار التبييض β-carotène (15.93%) إذا ما قورن بالأطعمة الأكثر استهلاكاً في الجزائر. إضافة إلى ذلك ، فإن النتائج الإيجابية التي تم الحصول عليها للعلاقة بين المحتوى الفينولي الكلي والنشاط المضاد للأكسدة للتمور DPPH (0.803) ، FRAP (0.955) ، اختبار التبييض β-carotène (0.67)) تشير إلى احتمال أن تكون متعددات الفينول هي المسؤولة عن النشاط المضاد للأكسدة لهذه الفاكهة.</p> <p>الكلمات المفتاحية : أنواع الأكسجين التفاعلية، النشاط المضاد للأكسدة، دجلة نور ، متعددات الفينول.</p>	